

TERMOELASTOMEERIEN KIERRÄTYS

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Muovitekniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Teemu Timonen

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

TIMONEN, TEEMU: Termoplastomeerien kierrätys
Muovitekniikan opinnäytetyö, 57 sivua, 17 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Työn tarkoituksena on tutkia miten kierrätys, uudelleenprosessointi, UV-vanhennus ja materiaalin termodynaaminen kuivaus vaikuttavat termoplastomeerin ominaisuuksiin. Työ kuuluu osana projektiin ”Uusiomuovin vaikutukset valmistusprosessiin, tuotteiden ominaisuuksiin ja käyttöön”.

Teoriaosuudessa käydään läpi mitä termoplastomeerit ovat ja esitellään yleisimmin käytössä olevat termoplastomeerit ominaisuuksineen ja käyttökohteineen, sekä luodaan katsaus käytön yleistilanteeseen ja markkinanäkymiin. Teoriaosuudessa perehdytään lisäksi muovien kierrätyksen, kuivauksen, uudelleen prosessoinnin ja UV-säteilyn vaikutuksiin polymeerien ominaisuuksissa yleisellä tasolla.

Kokeellisessa osuudessa tutkitaan miten materiaalin kuivaus ennen prosessointia, uudelleenprosessointi, materiaalin kierrätys ja UV-vanhennus ovat vaikuttaneet materiaalin ominaisuuksiin vertailtuna neitseelliseen materiaaliin. Kierrätetylle, UV-vanhennetulle ja neitseelliselle materiaalille suoritetaan mekaanisten kokeiden lisäksi DSC, FTIR, sekä reologiset mittaukset.

Tuloksia vertaillaan neitseellisestä materiaalista saatuihin koetuloksiin ja kirjallisiin arvoihin.

Asiasanat: termoplastomeerit, kierrätys, uudelleen prosessointi, UV-säteily, termodynaaminen kuivaus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Plastics Engineering

TIMONEN, TEEMU: The recycling of thermoplastic elastomers

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 57 pages, 17 pages of
appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study how recycling, reprocessing, ultraviolet radiation and thermodynamic drying affect the material properties of thermoplastic elastomer. The thesis was part of a project called "Post Consumer Plastics Recycling"

The theoretical part presents what thermoplastic elastomers are and introduces the most common thermoplastic elastomers with their characteristics and applications. In addition, the theoretical part creates an overview to the general situation of their use and market outlook.

The theoretical part of the study also deals with how recycling of plastics, thermodynamic drying, reprocessing and UV radiation affect the properties of the polymer on a general level.

The purpose of the practical part was to study how the drying of material before processing, reprocessing, recycling and UV aging affects the properties of thermoplastic elastomer compared to virgin material. Mechanical tests were done for recycled, UV-aged and virgin material with DSC, FTIR, and rheological measurements.

The test results were compared to virgin material and values found in literature.

Key words: thermoplastic elastomers, recycling, reprocessing, ultraviolet radiation, thermodynamic drying

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	MUOVIJÄTTEEN SYNTY JA UUSIOKÄYTTÖ SUOMESSA	4
2.1	Muovien kierrätys materiaalina	4
2.2	Muovien mekaaninen ja kemiallinen kierrätys	5
3	TERMOELASTOMEERIT (TPE)	7
3.1	Termoelastomeerien ryhmittely ja jako	9
3.2	Termoelastomeerien käytön yleistilanne ja markkinat	11
3.3	Yleisimmät käytössä olevat termoelastomeerit	12
4	MATERIAALIN KUIVAUS	16
4.1	Kosteuden vaikutus polymeerien ominaisuuksiin	16
4.2	Kosteusprosentin määrittäminen	17
5	UV-VANHENNUS	18
5.1	Säteilyn vaikutus polymeerien ominaisuuksiin	19
6	RUISKUVALU	21
7	KÄYTETYT TESTAUSMENETELMÄT -JA LAITTEET	23
7.1	Mekaaniset testausmenetelmät	23
7.1.1	Vetokoe	23
7.1.2	Kovuus	25
7.2	Viskositeetin mitta	27
7.3	Värimuutos mittaus	29
7.4	FTIR	30
7.5	DSC	31
8	TULOSTEN ANALYSOINTI JA HAVAINNOT	33
8.1	Materiaalin käyttäytyminen ruiskuvalun ja vetokokeen aikana	33
8.2	Vetokoe	34
8.3	Kovuus (Shore A)	41
8.4	Viskositeetin mittaus	43
8.5	Kosteusprosentti	48
8.6	Värimuutos mittaus	49
8.7	FTIR	50
8.8	DSC	50

LÄHTEET

53

LIITTEET

56

1 JOHDANTO

Kierrätys on asia, joka nousee esille yhä useammin eri yhteyksien kautta varsinkin muovien osalta. Viime vuosina on nähty useita kehityshankkeita ja projekteja liittyen muovien kierrätykseen ja kierrätettävyyteen. Asiassa onkin edetty melko kovaa tahtia parempaan suuntaan verrattuna vaikkapa 90-lukuun, mutta muovien käytön lisääntyessä syntyvä jätemäärä ei edelleenkään ole ollut laskusuunatainen. Tähän ongelmaan esimerkiksi Euroopan Unioni on viime vuosina pyrkinyt vaikuttamaan entistä voimakkaammin luomalla uusia entistä tiukempia jätedirektiivejä ja rahoittamalla kierrätykseen ja uusiokäyttöön liittyviä tutkimusprojekteja.

Opinnäytetyö on osa Ympäristöministeriön rahoittamaa projektia ”Uusiomuovin vaikutukset valmistusprosessiin, tuotteiden ominaisuuksiin ja käyttöön.” (PCPR-projekti), joka toteutetaan yhdessä Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Muovipoli Oy:n kanssa.

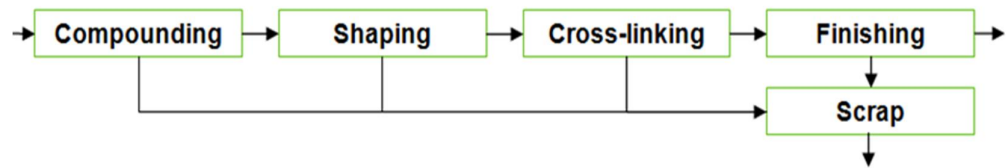
Työn tarkoituksena on tutkia, miten kierrätys ja UV-vanhennus vaikuttavat termoelastomeerin ominaisuuksiin. Lisäksi tutkitaan materiaalin termodynaamisen kuivauksen vaikutusta sen ominaisuuksiin. Materiaalista valmistetaan koesauvoja ruiskuvalukoneella kuivatusta ja kuivaamattomasta materiaalista. Materiaalia kierrätetään valmistamalla se ensin ruiskuvalamalla koesauvoiksi, minkä jälkeen se rouhitetaan raaka-aine rouhimella takaisin rouheeksi. Materiaalia kierrätetään ajamalla sitä ruiskuvalukoneen läpi useita (1,2,3,5,7) kertoja, josta jokaisella prosessointikerralla otetaan talteen tietty määrä koesauvoja niille suoritettavia testejä varten. Näin voidaan tutkia prosessointikertojen määrän vaikutusta materiaalin ominaisuuksiin hyvinkin tarkasti. Ruiskuvalukoneella valmistettujen koesauvojen visuaalisen tarkastelun lisäksi prosessointikierroksen välissä rouhitusta raaka-aineesta ajetaan viskositeettikäyrä kapillaarireometrillä, josta voidaan nähdä materiaalin mahdollinen viskositeetin eli sulavirtavuuden muutos.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutustutaan yleisimmin käytössä oleviin termoelastomeereihin ja niiden tyypillisiin ominaisuuksiin ja kierrätettävyyteen. Lisäksi luodaan katsaus termoelastomeerien käytön ja markkinoiden yleistilanteeseen tänä päivänä ja niiden käytön tulevaisuuden näkymiin.

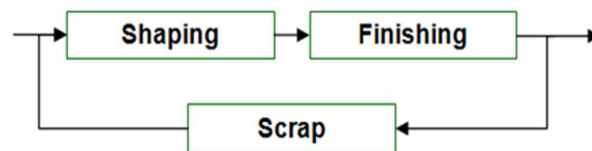
Kokeellisessa osuudessa tutkitaan, miten materiaalin kierrätys ja UV-vanhennus vaikuttavat sen mekaanisiin ja reologisiin ominaisuuksiin vertailtuna neitseellisestä materiaalista ruiskuvalettuihin koesauvoihin. Kokeellisessa osuudessa vertaillaan lisäksi kahta eri samaa materiaalia olevaa materiaalierää. Tutkittava materiaali on PolyOnen valmistama OnFlex tuoteryhmään kuuluvaa termoelastomeeri (SEBS). Tällä on tarkoitus selvittää ja tutkia materiaalin ominaisuuksissa olevia mahdollisia eroja materiaalierien välillä niille suoritettavien mekaanisten ja reologisten testien avulla.

Toisin kuin elastomeerit termoelastomeerit ovat uudelleen prosessoitavissa kuten kestopuovut (Järvinen P 2008, 99.)
Termoelastomeerien valmistus ja kierrätys ovat esitetty alla olevassa kuviossa 1. Materiaalin vanhennus tapahtuu UV-kaapissa, jossa altistetaan ruiskuvalukoneella valmistettuja koesauvoja ultraviolettisäteilylle enimmillään 3000 tunnin ajan

Traditional rubbers



Thermoplastics



KUVIO 1. Termoelastomeerien valmistus ja kierrätys vertailuna perinteiseen elastomeeriin (Plasticseurope 2014.)

2 MUOVIJÄTTEEN SYNTY JA UUSIOKÄYTTÖ SUOMESSA

Muovijätettä syntyy Suomessa yleisimmin teollisuudessa, pakkausjätteenä, vanhoista autoista sekä elektroniikka- ja sähkölaiteromuna. Muovijäte ei yleensä ole myrkyllistä tai ympäristöä saastuttavaa, mutta jätteenä se häviää luonnossa hyvin hitaasti. Suomessa muovijätettä syntyy vuosittain noin 160 000 tonnia, joista puolet on pakkausjätettä ja puolet muita elinkaarensa päähän tulleita muoviosia. Vuosittain muovia kierrätetään uusiokäyttöön noin 30 000 tonnia, energiahyötykäyttöön eli poltettavaksi käytetään 20 000-30 000 tonnia ja kaatopaikoille päätyvät loput 100 000 tonnia jätemuovia. Kaatopaikoille päätyvän muovijätteen määrää voidaan ainoastaan pienentää jätteen synnyn ehkäisemisellä ja lisäämällä muovien kierrätystä materiaalina sekä energiahyötykäytössä (Järvinen P 2008, 158; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 3, 2010, 212-214.)

2.1 Muovien kierrätys materiaalina

Muovien kierrätyksen kannattavuus on voimakkaasti sidoksissa neitseellisen muovin hintaan, kierrätysmuovin hinta yleensä luokkaa 50-80% neitseellisen raaka-aineen hinnasta. Tämä näkyy etenkin kalliimpien muovilaatujen, kuten teknisten muovien prosentuaalisesti suurempana kierrätysmääränä vertailtaessa edullisten valtamuovien kierrätysmääriin. Suomen muoviteollisuudessa käytetyistä muoveista 90 % on kestumuoveja, jotka ovat lämmön avulla uudelleen prosessoitavissa. Materiaalina kierrätettävä muovijäte on suurilta osin muoviteollisuuden tuotantojätettä, kaupan, teollisuuden tai maatalouden pakkausjätettä jätteen suuren määrän ja helpon lajiteltavuuden takia. Uusiomuovin käytön kasvua rajoittavia tekijöitä ovat markkinoiden rajallisuus, suurehkot prosessointikustannukset ja epäpuhtaudet materiaalissa. Myös muovien ominaisuuksien heikkeneminen vertailtaessa neitseelliseen materiaaliin

rajaa käyttökohteiden määrää ja on vaikuttanut uusiomuovista valmistettujen tuotteiden ja soveltuvien käyttökohteiden määrään. Lisäksi kierrätysmäärien kasvua hidastaa neitseellisten materiaalien markkinahinnan aleneminen. (TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 3, 2010, 212-214; Plasticker 2015.)

2.2 Muovien mekaaninen ja kemiallinen kierrätys

Muovijätettä voidaan kierrättää uusiokäyttöön kahdella eri tapaa mekaanisesti ja kemiallisesti. Kemiallisessa kierrätyksessä muovin polymeeriketjut pilkotaan muiksi kemikaaleiksi tavallisesti nesteeksi tai kaasuksi. Kemiallisesti muovijätettä kierrätetään koko EU mukaan lukien vuosittain noin 50 000 tonnia. Määrä on pieni vertailtaessa mekaanisesti vuosittain kierrätettyyn kuuteen miljoonaan tonniin. Muovien mekaanisella kierrätyksellä tarkoitetaan muovijätteen käsittelyä uudelleenkäytettäväksi mekaanisella prosessilla, esim. rouhinnalla. Mekaaniseksi kierrätykseksi luetaan myös teollisuuden tuotantojätteen uudelleenkäyttö samassa valmistusprosessissa materiaalin rouhinnan jälkeen. (Ekoasiaa 2014.) Tässä työssä materiaalia kierrätetään uudelleen prosessoitavaksi mekaanisesti rouhimalla. Materiaalin rouhintaan käytetty rouhin on esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. Materiaalin rouhintaan käytetty Rapid- raaka-ainerouhin

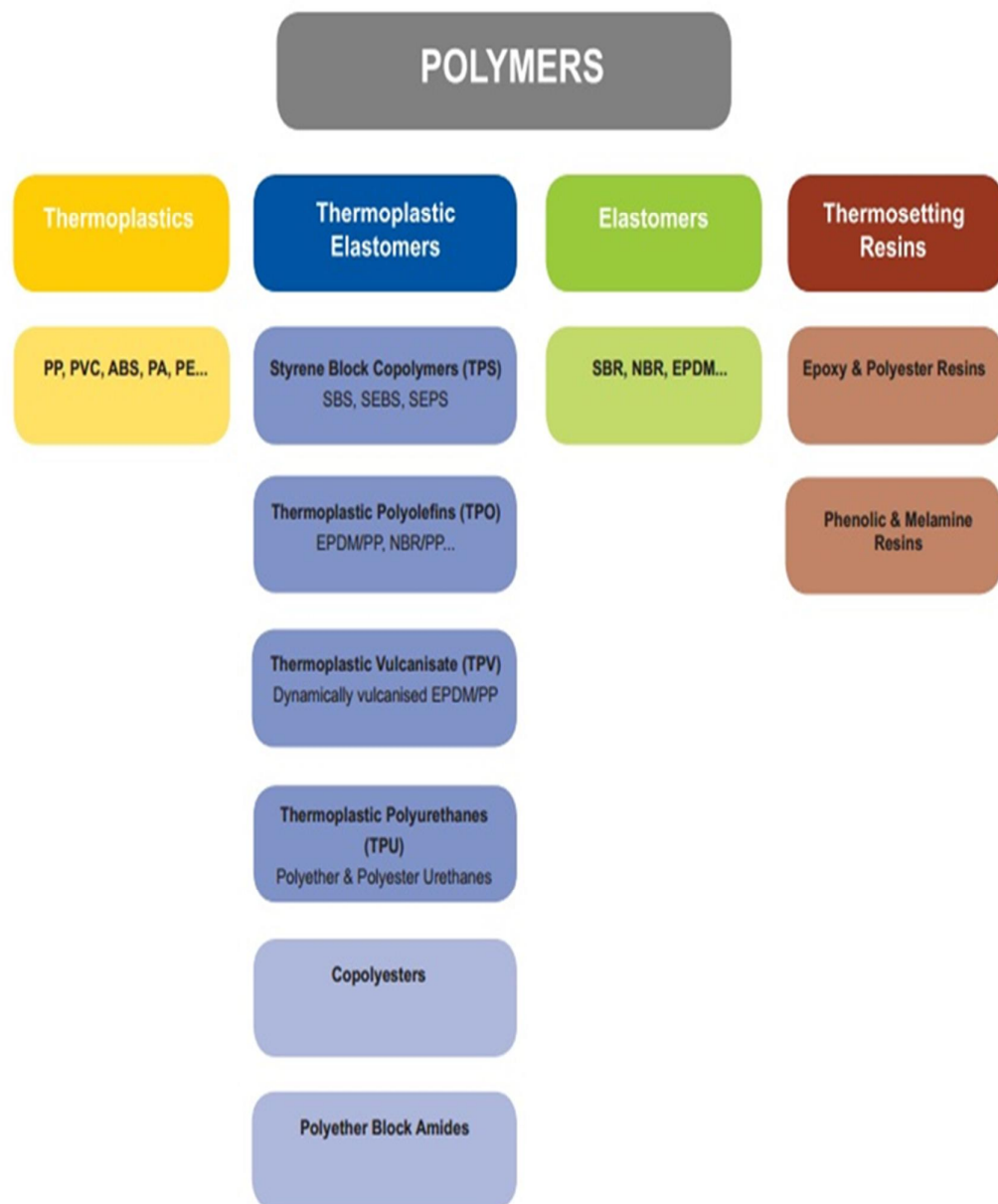
3 TERMOELASTOMEERIT (TPE)

Termoelastomeerit ovat kumimaisia kestopuoveja tai muovin ja kumin seoksia. Niitä voidaan lisätä muihin muoveihin mm. iskulujuuden parantamiseksi. Termoelastomeerien polymeeriketjut eivät ole sitoutuneet toisiinsa kovalenttisen sidoksin, joten ne ovat uudelleen prosessoitavissa lämmön avulla kestopuovien tavoin. Termoelastomeerit jaetaan koostumuksesta riippuen lohkopolymeereihin ja seoksiin. Termoelastomeerien ominaisuudet perustuvat niiden rakenteeseen, jossa on läsnä pehmeitä kumialueita ja jäykkiä kestopuovialueita (TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 77.)

Tärkeimpinä ominaisuuksina mainittakoon hyvät ominaisuudet alhaisissa lämpötiloissa, erinomaiset kulumiskestävyys- ja vaimennusominaisuudet (uretaanielastomeerit) ja hyvä kemiallinen kestävyys.

Termoelastomeerien etuja ovat myös soveltuvien työstömenetelmien laajuus ja materiaalien hyvä kierrätettävyys. Termoelastomeerien käyttöä rajoittavia tekijöitä esimerkiksi kumeihin verrattuna ovat suhteellisen alhainen ylin käyttölämpötila ($< 130 - 160\text{ °C}$), sekä pehmeiden laatuojen valikoiman rajallisuus ja melko korkea hinta (Muovimuotoilu 2014.) Termoelastomeerit polymeerien sukupuussa ovat esitetty kuviossa 2.

Polymer Family Tree



KUVIO 3. Termoelastomeerit polymeerien sukupuussa (Mueller-kunststoffe 2014.)

3.1 Termoelastomeerien ryhmittely ja jako

Termoelastomeerit ryhmitellään pääsääntöisesti, joko rakenteen, fysikaalisten tai kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Alla on jaoteltu termoelastomeerit niiden rakenteen perusteella sekä havainnollistettu erot rakenteiden välillä kuviossa 4. Termoelastomeerien jaottelu fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella on esitetty kuviossa 5.

TPE:n tyypit voidaan ryhmitellä rakenteensa perusteella seuraavasti:

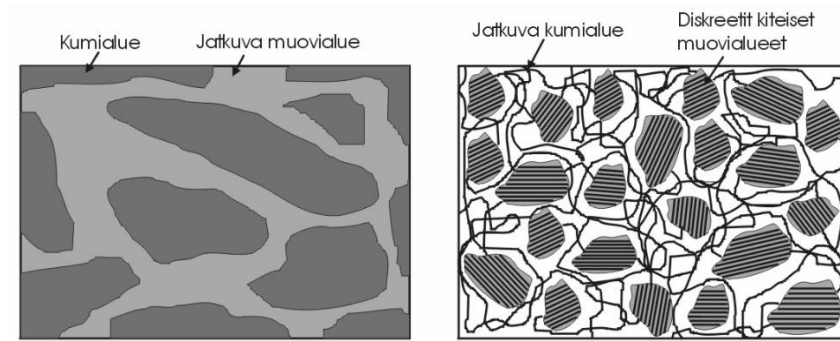
Kopolymeerit

- uretaanitermoelastomeerit TPU, TPE-U
- styreenitermoelastomeerit SBS, SEBS
- kopolyesterieetterielastomeerit TPE-E
- kopolyamidielastomeerit TPE-A

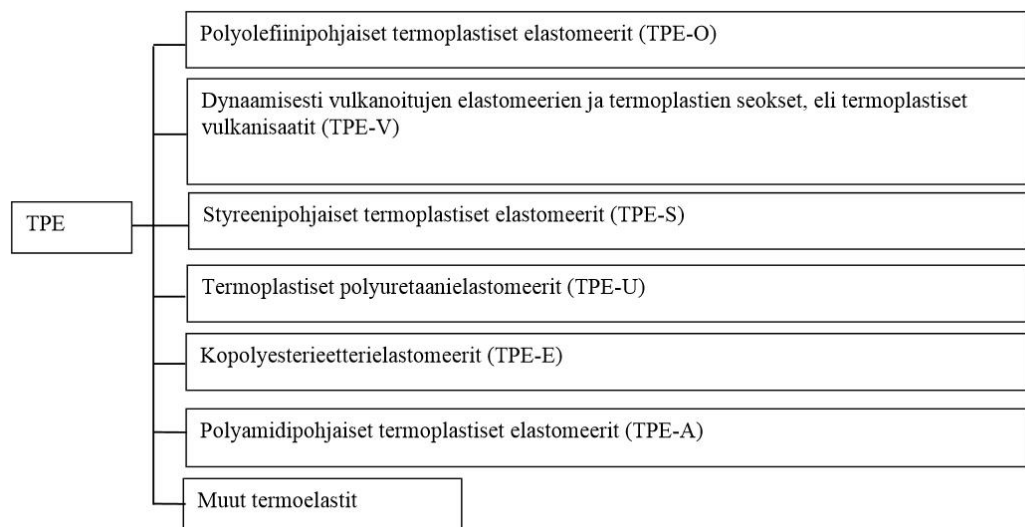
Muovin ja kumin seokset

- polyolefiinipohjaiset termoelastomeerit TPO, TOE
- termoplastiset vulkanisaatit TPV, DVR
- sulatyöstettävät elastomeerit MPR

(Muovimuotoilu 2014.)



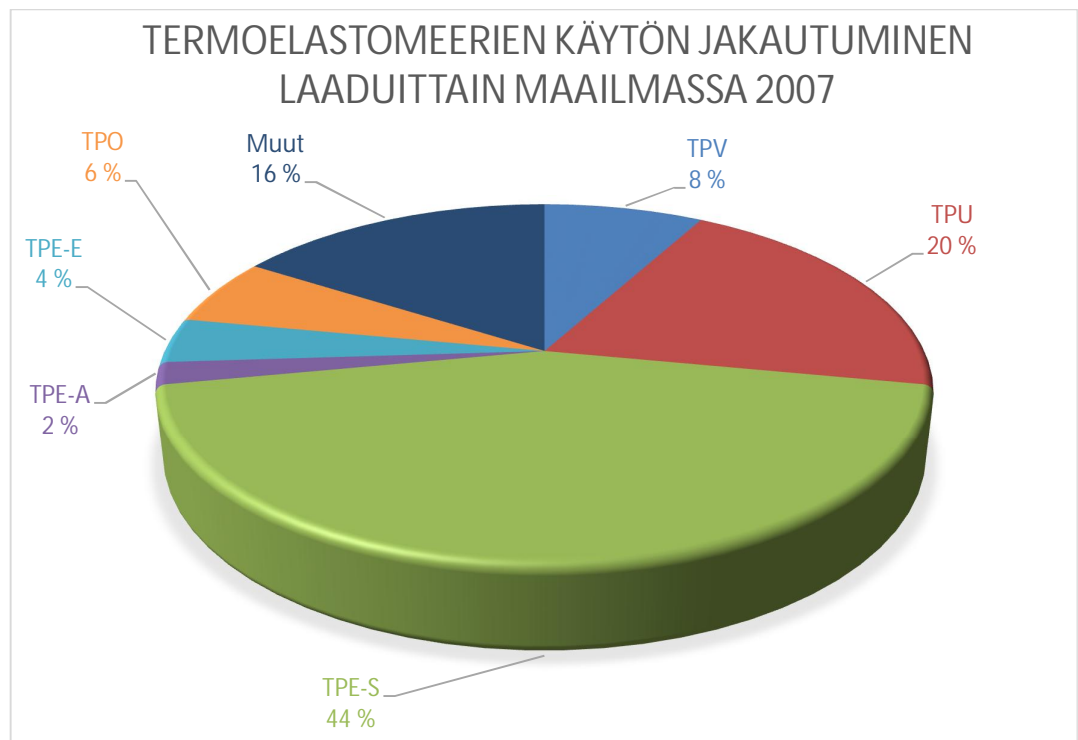
KUVIO 4. Termoplastisen elastomeerin rakenne, kun se koostuu kumin ja kestopuuvin seoksesta (vasen kuva) ja blokkikopolymeeristä (oikea kuva) (TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 79.)



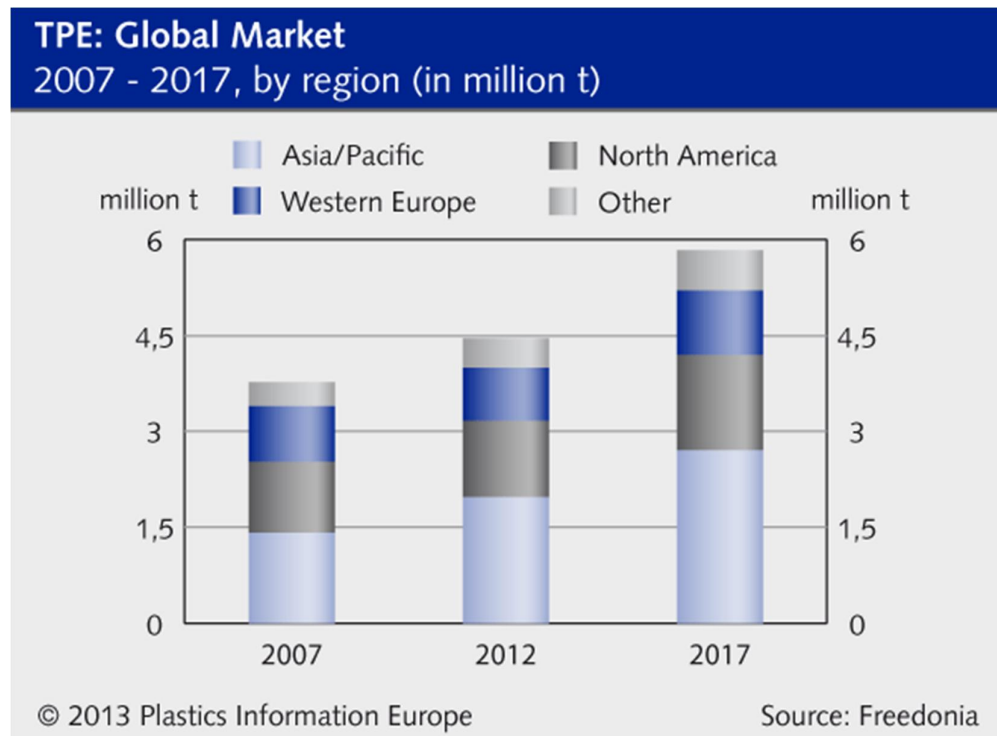
KUVIO 5. TPE:n jako fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella (TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 81.)

3.2 Termoelastomeerien käytön yleistilanne ja markkinat

Termoelastomeerien markkinat ovat 2000-luvulla kasvaneet nopeasti, mihin on vaikuttanut mm. materiaalien kierrätettävyyden suosiminen, termoelastomeerit ovatkin korvanneet perinteisiä elastomeerejä monissa eri sovellutuksissa. Käytön kasvua ovat myös auttaneet uusien termoelastomeeri laatuojen kehitys ja kaksikomponentti ruiskuvalutekniikan voimakas kehitys ja yleistyminen. TPE:n käytön on ennustettu lisääntyvän noin 6 %:n vuosivauhtia tulevina vuosina, joka tarkoittaisi suurempaa kasvua kuin missään muussa muoviryhmässä. (Järvinen P 2008, 100-101.) Termoelastomeerien käytön jakautuminen laaduittain, termoelastomeerien markkinat maailmanlaajuisesti, ja markkinaennuste ovat esitetty alla olevissa kuvioissa 6 ja 7.



KUVIO 6. Termoelastomeerien käyttö ja sen jakautuminen eri laaduittain (Järvinen P 2008, 100.)



KUVIO 7. Termoelastomeerien markkinat vuosina 2007, 2012 ja markkinaennuste vuodelle 2017 (Plasteurope 2013.)

3.3 Yleisimmät käytössä olevat termoelastomeerit

Alla on esitelty yleisimmät käytössä olevat termoelastomeerit ja niiden tyypillisimmät ominaisuudet ja käyttökohteineen ja sovelluksineen.

Styreenitermoelastomeerit (TPE-S)

Termoelastomeereistä yleisimmin käytettyjä muovilaatuja styreenitermoelastomeereihin kuuluvat SEBS ja SBS. Ne sisältävät kovien styreeni-segmenttien välissä olevan dieenisegmentin, joka yleisimmin on joko butadieenisegmentti S/B/S tai eteenibutadieenisegmentti S/EB/S. Styreenitermoelastomeerien hyvä sulajuoksevuus mahdollistaa

ohutseinämäisten kappaleiden valmistamisen ja ihomeisen pinnoitteen valmistamisen kovan muovin tai metallin päälle. Yleisimmät SEBS-laadut ovat kompaundeja lisäaineiden ja muiden teknisten muovien kanssa.

Kompauoinnilla voidaan räätälöidä SEBS:stä eri muoveihin tarttuvia laatuja. SEBS:stä tekee SBS:ää suositumman pääasiallisesti sen parempi kemikaalien ja UV-säteilyn kesto. Styreenitermoelastomeerien muita hyviä ominaisuuksia ovat hyvä vetolujuus, kulutuskestävyys ja suuri skaala kovuusasteikolla. Heikkouksina voidaan pitää korkeiden lämpötilojen, otsonin, hapen -ja valonkesto. Yleisimpiä käyttökohteita ja valmistettavia tuotteita ovat tarrat, sähköteollisuudessa käytettävät eristeet, lattialastat, urheilukengät, laitekotelot ja hammasharjat. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 101; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 160-161.)

Termoplastinen polyuretaani (TPU)

Termoplastinen polyuretaani vastaa ominaisuuksiltaan paljon kertamuovista polyuretaania. Termoplastinen polyuretaanielastomeeri on rakenteeltaan blokkikopolymeeri. Ominaisuuksiltaan se on kovempaa ja jäykempää kuin muut TPE:t, ja sen kulutuksenkesto ja repäisylujuus ovat termoelastomeerien materiaaliryhmästä parhaimmat. Muina hyvinä ominaisuuksina ja etuina voidaan mainita hyvä lujuus, hapen, otsonin -ja säänkesto. Ulkokäyttöä varten se on kuitenkin UV-stabiloitava.

Materiaalin kitkaisuus aiheuttaa jonkin verran ongelmia työstämisessä esim. muottiin tarttumista ja juoksevuusongelmia ruiskuvalussa. TPU:ta käytetään yleisesti teknisten muovien seosaineena, ja yleisimpiä siitä valmistettavia tuotteita ruiskuvalamalla ovat kaksikomponentti ruiskuvaletut tuotteet, kellonrannekkeet, kännykkäkotelot, laskettelumonot, kengän korot ja ekstruusio tekniikalla valmistetut kaapelinkuoret ja kalvot. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 101-102; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 162-163.)

Kopolyesterieetterielastomeerit (TPE-E)

Kopolyesterieetterielastomeerit ovat polyesterin ja polyeetterin kopolymeerejä, jotka sisältävät pehmeinä blokkeina polyeetteriketjun tai polybuteeniglykoliketjun ja kovina blokkeina polyesteriketjun. Ne ovat ominaisuuksiltaan kestäviä, kalliita ja vaikeasti työstettävissä. Niillä on hyvä hapen, otsonin, kemikaalin, lämmön ja öljyjen kesto sekä hyvät lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Valmistettavia tuotteita ja käyttökohteita ovat kytkimet, putket, tiivisteet, kaapelien ja johtojen päällysteet. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 102; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 164.)

Kopolyamidielastomeerit (TPE-A)

Kopolyamidielastomeerit ovat polyamidin ja polyeetterin kopolymeerejä. Ne sisältävä kovana blokkina toimivan polyamidin ja pehmeinä blokkina toimivan polyesterin -tai eetterin. Niillä on paras lämmönkesto termoelastomeereistä, ja ne kestävät jatkuvaa jopa +170 °C:n lämpötilaa ja muita tyypillisiä ominaisuuksia ovat hyvä iskulujuus ja kulutus- ja kemiallinen kestävyys. Hinnaltaan ne ovat kuitenkin kalliita verrattuna muihin termoelastomeereihin. Yleisimpiä valmistettavia tuotteita ovat jalkapallot, hiihtokengät, vesihöyryä läpäisevät kalvot ja letkut. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 103; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 165.)

Polyolefiinipohjaiset termoelastit (TPO)

Polyolefiinielastomeerit rakenteeltaan blokkikopolymeerejä tai polymeeriseoksia. Yleisimmin ne ovat PE:n tai PP:n ja eteeni-propeenikumin seoksia. TPO-tyypit ovat kehitetty suurelta osin ekstruusiotekniikalla varten, jossa niitä käytetään polyolefiinien seosaineena ja adheesiokerroksessa monikerroskalvoissa. Tulevaisuudessa käytön odotetaan lisääntyvän myös ruiskuvalutekniikassa uusien laatujen markkinoille tulon johdosta. Ominaisuuksiin kuuluvat hyvä kemikaalien kesto ja prosessoitavuus, erinomainen säänkesto, pieni tiheys ja matala hinta. TPO:sta valmistettavia tuotteita ovat mm: autojen puskurit ja ulkoprofiilit, kaapelinkuoret ja letkut. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 102; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 158.)

Termoplastiset vulkanisaatit (TPV, DVR)

Termoplastiset vulkanisaatit ovat rakenteeltaan vulkanoitavien elastomeerien ja termoplastien seoksia. Ne koostuvat hienojakoisesta, seostuksen aikana vulkanoidusta elastomeerista sekä pienestä määrästä kestopuovia. Termoplastisilla vulkanisaateilla on pienehkö pysyvä muodonmuutos, hyvät mekaaniset ominaisuudet, hyvät ominaisuudet alhaisissa lämpötiloissa, hyvä väsymiskestävyys sekä hyvä nesteiden ja öljyjen kesto. Korkean pintakitkan vuoksi TPV:tä käytetään paljon kova-pehmeämuovin tartuntamateriaalina kaksikomponentti ruiskuvalussa. Tästä voidaan esimerkki tuotteena mainita tiskiharja. Muita valmistettavia tuotteita ja käyttökohteita ovat: lasitustiivisteet, sukelluslaitteet, autojen osat, putket ja sähköneristeet. (Muovimuotoilu 2014; Järvinen P 2008, 102; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2010, 159.)

4 MATERIAALIN KUIVAUS

Materiaali on kuivattava, mikäli sen kosteusprosentti ylittää tiedetyn rajan. Ruiskuvalussa sallitut kosteusprosentit (paino-%) ovat luokkaa 0,1-0,02 %:a muovityypistä riippuen. Kuivailmakuivurit ovat yleisimmin käytettyjä jatkuvatoimisia kuivauslaitteistoja, muita käytettäviä kuivausmenetelmiä ja tekniikoita ovat kuumailma, alipaine, IR-säteilykuivaus, mikroaaltokuivaus ja kaasunpoistosylinterin käyttö ruiskuvalukoneessa. Kuivausmenetelmät voidaan jakaa mekaaniseen kuivaukseen ja termiseen kuivaukseen, joista tässä työssä käytetään termistä kuivausta. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen, 2002, 86.)

Molemmista vertailtavista materiaalieristä kuivataan puolet kiertoilmauunissa ja puolet jätetään kuivaamattomaksi. Kuivatut ja kuivaamattomat materiaalierät erotellaan huolellisesti toisistaan. Materiaalin kuivauksen tarkoituksena on selvittää, miten kuivaus vaikuttaa prosessoitavuuteen ja tutkia, onko kuivauksella vaikutusta mekaanisiin ominaisuuksiin, kun käytössä on samat ajoarvot ruiskuvalaessa. Materiaalin valmistaja ei itse vaadi materiaalille kuivausta ennen prosessointia. Kuivaukseen käytettiin kiertoilmauunia (KUVIO 8.) alun perin käytettäväksi suunnitellun lämminilmakuivurin sijaan sen ollessa vikaantunut. Käytetyt kuivausolosuhteet olivat kiertoilmauunissa (aika 4 h ja lämpötila 80 °C)

4.1 Kosteuden vaikutus polymeerien ominaisuuksiin

Riippuen materiaalilaadusta, tyypistä, lisäaineistuksesta ja materiaalin valmistajasta materiaalille voidaan edellyttää kuivausta ennen sen prosessoimista tuotteeksi. Tutkittavalle materiaalille valmistaja ei vaatinut kuivausta, mutta termoelastomeerien ryhmästä löytyy monia laatuja, jotka ovat kuivattava ennen prosessointia (Matweb 2015.)

Jos kosteusprosentti on liian suuri, materiaalia ei voida lähteä granuloimaan eikä ajamaan ruiskuvalukoneella ilman, että siitä aiheutuu ongelmia prosessoinnissa. Lisäksi kosteus vaikuttaa tuotteen pinnanlaatuun ja heikentää materiaalin mekaanisia ominaisuuksia (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen, 2002, 86.)

4.2 Kosteusprosentin määrittäminen

Ennen ruiskuvalua kummastakin materiaalierästä otettiin näyte, joka punnittiin ennen kiertoilmauuniin asettamista. Vertailunäytteeksi otettiin PA6, joka sisältää hyvinkin paljon kosteutta eikä ole prosessoitavissa ilman materiaalin kuivausta. Näytteitä kuivattiin kiertoilmauunissa (aika 4 h ja lämpötila 80 °C), jonka jälkeen ne punnittiin uudelleen materiaalin kosteusprosentin laskemista varten.



KUVIO 8. Materiaalin kuivaukseen käytetty kiertoilmauuni

5 UV-VANHENNUS

Koesauvoille suoritettiin standardia (SFS-EN ISO 4892-3) soveltaen 3000 tuntia kestävä UV-vanhennus, josta otettiin välitulokset 500, (vain nollanäyte) 1000 ja 2000 (vain nollanäyte) tunnin kuluttua aloituksesta.

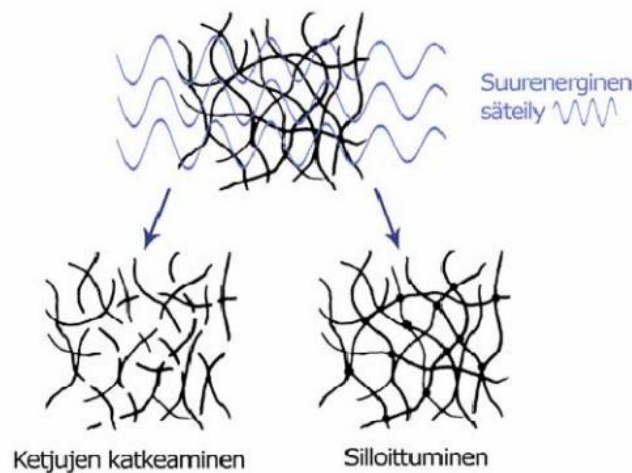
Kaappiin asetetut näytteet olivat ruiskuvalukoneella valmistettuja koesauvoja. Näytteiksi kaappiin asetettiin nollanäyte, 3-kertaa kierrätetty näyte ja 7-kertaa kierrätetty näyte. Näin voitiin tutkia myös UV-säteilyn vaikutusta kierrätetylle materiaalille. Testaus suoritettiin UV-kaapissa, jossa oli neljä UVA-351 tyyppistä 40 W:n mustavaloloisteputkea. Vanhennukseen käytetty UV-kaappi, johon on asetettu UV-vanhennettavat näytteet on esitetty alla olevassa kuviossa 9. Näytteet numeroitiin tunnistamista varten.



KUVIO 9. Koesauvat asetettuna UV-kaappiin

5.1 Säteilyn vaikutus polymeerien ominaisuuksiin

UV-säteilylle altistaminen aiheuttaa polymeerien molekyylisidosten katkeamista ja vapaiden radikaalien syntyä. Perusperiaatteeltaan UV-säteilystä aiheutuva hajoaminen on samankaltainen kaikilla yleisimmin käytetyillä muovilaaduilla, jossa UV- säteilyn aiheuttama vahingoittuminen perustuu polymeeriketjujen katkeamiseen, ja täten reaktio vaikuttaa materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin heikentävästi (Klyosov A. 2007, 602.) Säteily voi aiheuttaa myös polymeeriketjujen silloittumista, mitä on havainnollistettu alla olevassa kuviossa 10. Lisäksi ympäristötekijät, kuten kuumuus, kosteus ja happi, nopeuttavat säteilyn aiheuttamaa vaikutusta polymeerimateriaaleihin.



KUVIO 10. Säteilyn vaikutus polymeerin molekyyliketjuihin
(TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 2, 2010, 253.)

Polymeereihin voidaan sekoittaa UV-säteilyä absorboivia aineita tai stabilisaattoreita suodattamaan ja heijastamaan UV-säteilyä ja täten parantamaan niiden UV-säteilyn kestoja. Säteilyä absorboivat aineet esim. lähes kaikki epäorgaaniset pigmentit imevät säteilyn itseensä. Hyvänä esimerkkinä voidaan mainita hiilimusta, jota on käytetty väripigmenttinä tutkittavassa materiaalissa. Se on jo pieninä 1 – 2 % määrinä hyvä suojapigmentti parantamaan UV-säteilyn kestoja. Stabilisaattorit stabiloivat syntyneet ketjunpäättäjät siten, että ketjujen pilkkoutuminen ja hajoaminen eivät pääse etenemään. Värittömiin materiaaleihin voidaan käyttää orgaanisia yhdisteitä, jotka absorboivat UV-säteilyn ja luovuttavat energian ympäristöön vaarattomana pitkäaaltoisena säteilynä tai lämpönä (Seppälä 2005, 119; TTY/ Polymeerimateriaalien perusteet osa 2, 2010, 253-255.)

6 RUISKUVALU

Ruiskuvalu on valmistusmenetelmä, jossa valmistetaan täysin automatisoiduilla tietokoneohjatulla koneella kestopuovisia kappaleita. Prosessissa muovi plastisoidaan homogeeniseksi massaksi sylinterissä olevien lämmitysvastusten ja ruuvien pyörimisen muodostaman sisäisen kitkan avulla. Sulanut polymeerimassa ruiskutetaan temperoituun teräksiseen suljettuun muottiin suurella paineella, minkä jälkeen se asetetun jälkipaine- ja jäähdytysajan kuluttua valmis kappale voidaan poistaa muotista ja prosessin kierto aloittaa uudelleen.

Ruiskuvaluprosessin työkierto muodostuu seuraavista vaiheista:

1. muotin sulk.
2. ruiskutusyksikön liike eteen.
3. ruiskutus ja jäähdytyksen aloitus.
4. jälkipaine, ruiskutusyksikön liike taakse.
5. annostus ja plastisointi.
6. muotin aukaisu ja kappaleen ulostyöntö.

(Kurri, Malén, Sandell & Virtanen. 2002, 72-78.)

Ruiskuvalumenetelmällä valmistetaan tavanomaisesti suuria sarjoja. Järkevä sarjakoko on pienimmillään luokkaa tuhat kappaletta tuotetta, Ylärajaa ei ole, vaan tuotteita voidaan tehdä miljoonia, kuten virvoitusjuomapullon korkkeja. Vain muutaman kappaleen sarjoja saatetaan ruiskuvalaa, jos halutaan saavuttaa materiaali- ja tuoteominaisuuksia, joita ei saavuteta muuten kuin ruiskuvalamalla. Myös termoelastomeerien valmistuksessa ruiskuvalu on yleisesti käytetty valmistusmenetelmä etenkin kaksikomponenttivaluissa tuotteissa.

Ruiskuvalettavan materiaalin on oltava muovattavissa paineen avulla ja sillä on oltava riittävät virtausominaisuudet. Menetelmällä pystytään tekemään siistejä ja mittatarkkoja tuotteita. (Muovimuotoilu 2014.)

Tässä työssä ruiskuvalua käytetään koesauvojen valmistamiseen ja materiaalin kierrätykseen prosessoimalla sitä uudelleen rouheesta sauvoiksi.



KUVIO 11. Krauss Maffei ruiskuvalukone, jota käytettiin koesauvojen valmistamiseen.

7 KÄYTETYT TESTAUSMENETELMÄT -JA LAITTEET

7.1 Mekaaniset testausmenetelmät

Mekaanisten testausmenetelmien avulla voidaan tutkia materiaalin fysikaalisia ominaisuuksia, selvittää mahdollisia materiaalierien eroja toisiinsa verrattuna ja tutkia, miten materiaalin kierrätys ja UV-vanhennus ovat vaikuttaneet materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin.

7.1.1 Vetokoe

Vetokokeella määritetään materiaalin vetokimmomoduuli, vetolujuus, myötöraja ja murtolujuus. Testauksella saadaan tietoa materiaalin lujuus-, sitkeys- ja jäykkyys ominaisuuksista ja nähdään materiaalin käyttäytyminen vedon aikana. Testauksessa mitataan koekappaleeseen kohdistuva kuormitus ja venymä. Kokeessa standardin mukaan mitoitettua, ja yleensä ruiskuvalamalla valmistettua koesauvaa venytetään pituussuunnassa vakionopeudella ja mitataan venytystä vastustavaa voimaa, josta tulokseksi saadaan jännitys-venymäkuvaaja.

Jännitys lasketaan kaavalla

$$\sigma = F/A, \quad (1)$$

jossa

- σ on vetojännitys (MPa)
- F on testauksessa mitattu voima (N)
- A on koekappaleen poikkipinta-ala ennen vetoa (mm²)

Venymä lasketaan kaavalla

$$\varepsilon = \Delta L_0 / L_0, \quad (2)$$

jossa

- ε on venymän arvo, joka ilmoitetaan joko laaduttomana suhteena tai prosentteina
- L_0 on koekappaleen alkuperäinen pituus (mm)
- ΔL_0 on pituuden lisäys suhteessa alkuperäiseen pituuteen (mm)

Materiaalin kimmomoduuli voidaan määrittää jännitysvenymäkuvaajan lineaarisesta alkuosasta kaavalla

$$E_t = \sigma_2 / \varepsilon_2 - \sigma_1 / \varepsilon_1, \quad (3)$$

jossa

- E_t on vetokimmokerroin (MPa)
- σ_1 on jännitys määriteltynä venymän arvolla $\varepsilon_1 = 0,0005$
- σ_2 on jännitys määriteltynä venymän arvolla $\varepsilon_2 = 0,0025$

Erittäin tärkeää kokeen oikein suorittamisen kannalta on, että koekappaleeseen vaikuttaa koko kokeen ajan puhdas vetojännitys, jotta tulokset ovat todenmukaisia. Vetokoe on yleisin käytössä oleva testausmenetelmä polymeerimateriaaleille. Testausmenetelmälle on olemassa eri standardit riippuen testattavasta materiaalityypistä, joista tässä työssä käytössä SFS-EN ISO 527-1. Koejärjestely on esitetty alla olevassa kuviossa 12 (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen, 2002, 191-192; SFS-EN ISO 527-1 2012, 23-25.)



KUVIO 12. Koejärjestely, jossa koesauva on asetettuna vetokoneen leukojen väliin

7.1.2 Kovuus

Kovuuskokeiden avulla voidaan selvittää, kuinka kovaa tai pehmeää testattava aine on. Kovuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia, kuten painaumia ja naarmuuntumista, staattisen kuormituksen aikana.

Kovuustestissä mitattavan kappaleen pintaan painetaan koetyypin mukaan standardoitua neula-, kuula-, kartio-, tai pyramidi paininta. Tavallisimpia muovien kovuusmittaus kokeita ovat standardin SFS 4771 mukainen Rockwell L, M ja R, joista L soveltuu pehmeille ja R kovemille muoveille. Standardin SFS-EN ISO 868 mukainen Shore A kovuuden mittausmenetelmä soveltuu elasteille, kuten kumeille ja sekä pehmeille

muoveille, ja Shore D sopii kovemille muoveille. Muovien kovuusmittauksilla saadaan nopeasti ja usein ainetta rikkomatta tietoja materiaalin ominaisuuksista (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen, 2002, 193.)

Shore-kovuus

Shore-kovuuden mittaaminen suoritetaan durometrin avulla, ja se on täysin empiirinen menetelmä. Kokeessa mitattavan painauman syvyyden ja aineen perusominaisuuksien välillä ei ole yksinkertaisia riippuvuuksia. Menetelmässä (esim. SFS- EN ISO 868 tai DIN 53505) käytetään kahta erilaista durometria: durometri A on jousikuormitteinen katkaistun kartion muotoinen mittakärki ja durometri D on teräväkärkinen. Durometria A käytetään pehmeille materiaaleille ja durometria D suositellaan käytettäväksi, kun durometrilla A saavutetaan ylin 90 arvoja. Menetelmässä mitataan välittömästi syntyvä painauma, painauma tietyn ajan kuluttua tai molemmat. (TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 2, 2010, 84-87; SFS-EN ISO 868, 2003.) Tässä työssä mittausmenetelmänä käytetään Shore A:ta, jonka kovuusmittari on esitetty alla olevassa kuviossa 13. Kovuus mitataan koesauvojen pinnasta viidestä eri kohdasta ja tuloksiin kirjataan kovuuden arvot 0 ja 15 sekunnin kohdalta mittauksen aloituksesta.



KUVIO 13. Shore A kovuusmittari johon on asetettu mitattava näyte.

7.2 Viskositeetin mittaaminen

Viskositeetti on yksi materiaalin tärkeimmistä ominaisuuksista, joka kuvaa leikkausjännityksen suhdetta nopeusgradienttiin. Käytännössä viskositeetti kuvaa materiaalin juoksevuutta. Viskositeetin tutkiminen on tärkeää materiaalin soveltuvuuden arvioinnissa eri työstömenetelmiin.

Polymeerinsulan viskositeetti poikkeaa huomattavasti lineaarisesta.

Leikkausnopeuden kasvaessa sulaviskositeetti alenee, jota kutsutaan leikkausohenevuudeksi, sulaviskositeettiin vaikuttavat seuraavat tekijät: leikkausnopeus, näytteen rakenne, koostumus ja lämpötila. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 188.) Viskositeetin mittausta varten otetaan talteen kierrätyskierroksella rouhittua materiaalia, jotta voidaan tutkia uudelleen prosessoinnin vaikutusta materiaalin viskositeettiin.

Kapillaarireometria

Kapillaarireometriassa viskositeetti määritetään leikkausjännityksen ja leikkausnopeuden suhteena. Menetelmänä se sopii käytettäväksi viskositeetin mittaukseen etenkin suurilla leikkausnopeuksilla (n.500 - 10000 1/s). Tyypillisesti suuria leikkausnopeuksia esiintyy työstettäessä materiaalia ekstruusio- ja ruiskuvalumenetelmillä. Kapillaarireometri mittaa sulan muovin virtausta kapillaarissa painehäviön funktiona, kapillaarin yli syntyvää painehäviötä voidaan määrittää mittaamalla sylinterissä vallitseva paine paineanturia käyttäen. Menetelmässä sula materiaali työnnetään mekaanisesti tai hydraulisesti säädettävän männän avulla kapillaarin läpi. Paine pienenee lineaarisesti sylinterin pituussuunnassa ja materiaalin ulostulossa se on hyvin lähellä nollaa. Sisään- ja ulostulopaine riippuvat leikkausnopeudesta sekä kapillaarin pituuden ja halkaisijan välisestä suhteesta (L/D-suhde).

Materiaalin viskositeetti (η) lasketaan alla olevan kaavan mukaisesti:

$$\eta = \frac{\pi R^4 P}{8 L Q} = \frac{R P}{2 L} * \frac{\pi R^3}{4 Q} \quad (4)$$

Missä: R = kapillaarin säde (mm), L = kapillaarin pituus (mm), P = paine-erotus kapillaarin päätyjen välillä (MPa) ja Q = tilavuusvirta (mm³/s).

(Seppälä 2005, 96-97; TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1, 2009, 47.) Viskositeetin mittaukseen käytetty kapillaarireometri on esitetty alla olevassa kuviossa 14.



KUVIO 14. Viskositeetin mittaukseen käytetty kapillaarireometri

7.3 Värimuutos mittaus

Väriä mitattiin Minolta CR 200 laitteistolla, joka sisältää dataprosessorin ja mittauspään. Väriä mitattiin koiesauvan pinnasta ja jokaisesta näytteestä otettiin kolme mittausta eri kohtaa näytettä.

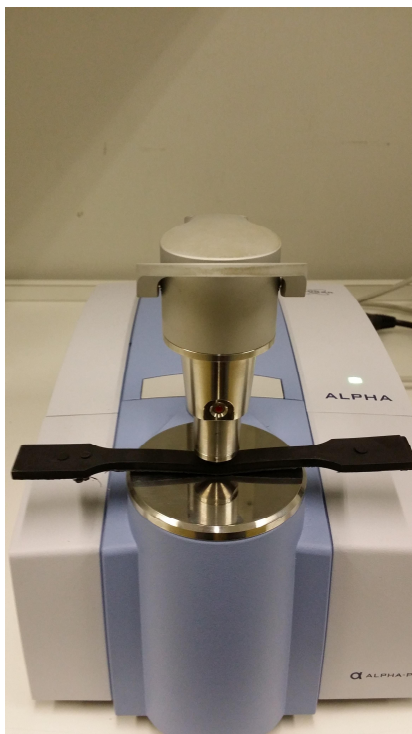
Mittausasteikkona käytettiin Lab-asteikkoa, jossa L-akseli kuvaa mitattavan kohteen valoisuutta, a-akseli mittaa puna-vihreyttä ja b-akseli mittaa sini-keltaisuutta. (LUT/värimuodostus ja värinhallinta 2006, 35-36.) Värimittauksella tutkittiin, aiheuttaako UV-säteily muutosta näytteiden väriin.

7.4 FTIR

FTIR-spektrometri mittaa valon interferenssikuviota, joka muunnetaan matemaattisella toimituksella, (Fourrier-muunnoksella) spektriiksi. FTIR-spektrometrissä käytettävät ajoparametrit ovat aaltolukualue, pyyhkäisyjen lukumäärä ja resoluutio. FTIR:llä voidaan tutkia hyvinkin tarkasti mitä materiaali käytännössä on

FTIR:lla tutkitaan materiaalin infrapuna-säteilyn absorptiospektriä tai transmissiospektriä. Sen pääsääntöinen käyttötarkoitus on orgaanisten molekyylien tunnistaminen. FTIR:llä saadaan selville näytteen IR-spektrejä, joista pystytään päättämään kemiallisia sidoksia sekä atomiryhmiä. Vertailemalla näitä jo tunnettujen aineiden absorptiopiikkeihin voidaan näyte tunnistaa tietyksi materiaaliksi. (Jaarinen & Niiranen 2005, 95-103; SFS-EN 15483, 2008.)

FTIR:llä oli tarkoitus selvittää onko materiaalien välillä eroja spektrissä ja tutkia onko materiaalin uudelleen prosessointi ja UV-vanhennus muuttanut sen spektriä ja havaita mahdollinen muutos kemiallisissa sidoksissa. Tutkittavat näytteet otettiin koesauvan pinnasta ja poikkileikkauksen keskikohdasta. Alla olevassa kuviossa 15 on esitetty koejärjestely.



KUVIO 15. FTIR laitteisto, johon on asetettu tutkittava näyte.

7.5 DSC

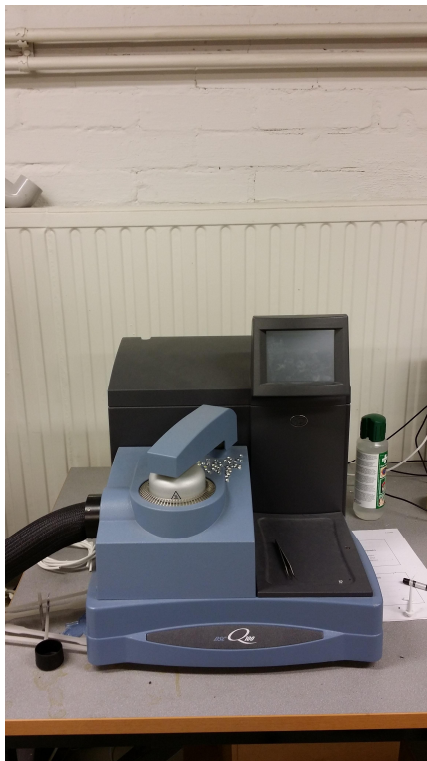
DSC on termoanalyttinen muovien tutkimusmenetelmä, jolla saadaan määritettyä näytteestä vapautuva tai näytteen sitoma energia lämpötilan (tai ajan) funktiona.

Menetelmässä näytettä ja referenssiä lämmitetään- tai jäähdytetään termoelementeillä, joiden käyttämien energioiden eroja seurataan. Referenssinä menetelmässä käytetään tyhjää näyteastia. Suositeltava näytteen paino vaihtelee välillä 4-10 mg riippuen laitteistosta. Materiaalia lämmitettäessä tai jäähdytettäessä voidaan havaita välittömästi siinä tapahtuvat lämpökapasiteetin muutokset lämpövirrassa. Mittauksesta saatavassa kuvaajasta on eroteltavissa sekä endo- että eksotermisiä reaktioita. Mittauslämpötila alueena polymeerimateriaaleilla käytetään tavallisesti -190 – 700 °C, sekä mittauksen lämmitys- ja jäähdytysnopeutena 10 - 20 °C/min.

Yleisimmin laitteistoa käytetään polymeerien tutkimiseen, mutta sillä voidaan tutkia esimerkiksi myös lääkkeitä, huumeita, maaleja ja liimoja.

Tyypillisiä DSC:llä määritettäviä parametrejä ovat sulamislämpö, kiteytymislämpötila, kiteisyysaste, lasittumislämpötila, ominaislämpö, induktioaika ja -lämpötila, ja DSC:n tyypillisiä sovelluskohteita ovat polymeerien tunnistus, laadun valvonta, materiaalien vertailu, polymeeriseokset, kopolymeerit, lisäainemääritykset, "trouble shooting" ja polymorfismi. (Seppälä 2005, 60-61; Wikipedia 2015; TTY 2015.)

DSC:llä tutkittiin materiaalin uudelleen prosessoinnin, kuivauksen ja UV-vanhennuksen vaikutusta sen sulamislämpötilaan, kiteytymislämpötilaan ja ominaislämpökapasiteettiin, sekä vertailtiin materiaalieriä. Mittauslämpötila alueena käytettiin $-70 - 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja mittauksen lämmitys- ja jäähdytys nopeutena $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$. DSC-laitteisto on esitetty alla olevassa kuviossa 16.



KUVIO 16. DSC-laitteisto

8 TULOSTEN ANALYSOINTI JA HAVAINNOT

8.1 Materiaalin käyttäytyminen ruiskuvalun ja vetokokeen aikana

Ruiskuvalussa käytettiin samoja ajoarvoja koko työn suorituksen ajan.

Kierrätetystä materiaalista valmistetuissa koesauvoissa oli havaittavissa imuja ja pinnan epätasaisuutta, vertailtaessa neitseellisestä materiaalista valmistettuihin koesauvoihin. Tämä ero oli kuitenkin havaittavissa vasta useammin kuin kerran kierrätettyä materiaalia ruiskuvalaessa. Useammin kuin kerran kierrätettyä materiaalia ajettaessa ajoarvoja muuttamalla ongelma luultavasti häviäisi. Tätä havaintoa tulisi tutkia vielä tarkemmin, kuin mitä olen työssäni asiaa tutkinut. Lisäksi ruiskuvalun aikana oli havaittavissa parafiinipohjaisen öljyn ”hikoileminen” materiaalista. Tämä näkyi mm. muotin pinnan öljyyntymisenä ja juuri valetun koesauvan pinnan kosteutena. Öljy kuitenkin imeytyi pinnasta heti, kun kappale jäähdyi. Vetokokeen suorituksen aikana koesauvan päätyjen ollessa puristettuna vetokoneen leukojen väliin öljy ilmestyi materiaalin pintaan uudelleen, mikä on nähtävissä alla olevassa kuviossa 17.

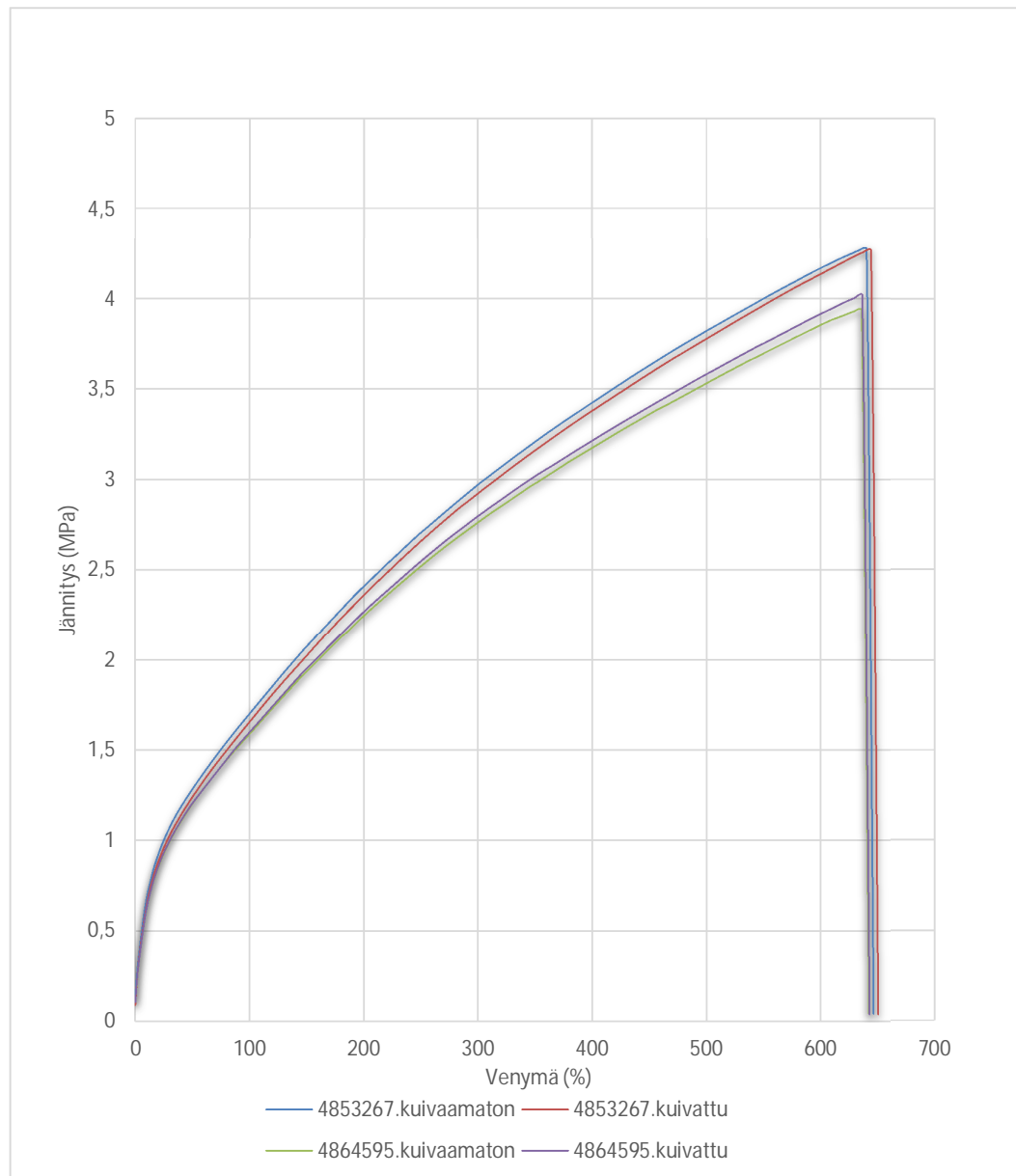


KUVIO 17. Koesauvan pääty kuvattuna vetokokeen suorittamisen jälkeen

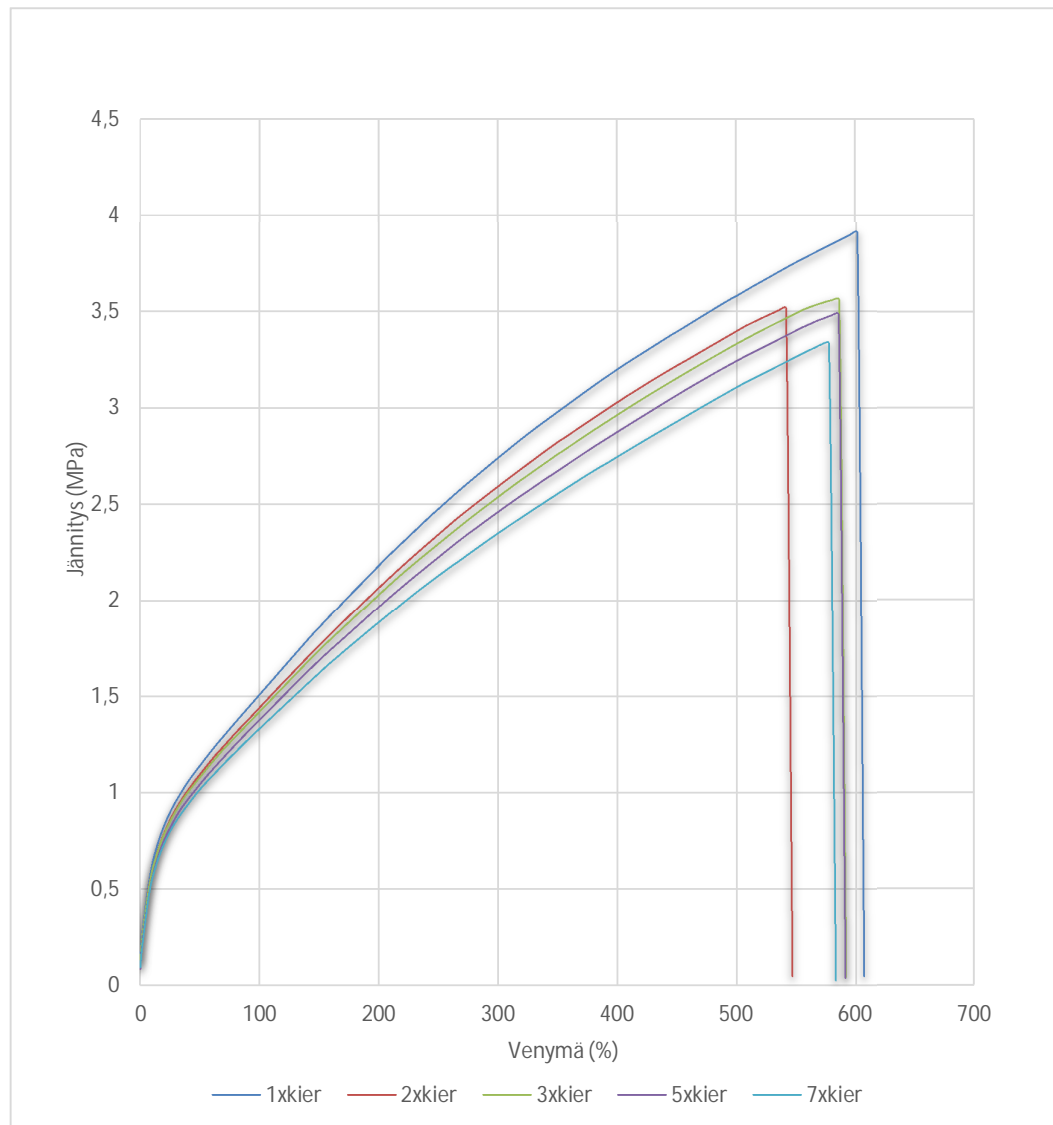
8.2 Vetokoe

Vetokokeen tuloksissa oli havaittavissa murtolujuuden melko lineaarinen aleneminen suhteessa kierrätyskertojen määrään. Murtolujuuden pieneneminen hidastui kuitenkin suhteessa siihen mitä useammin materiaalia oli kierrätetty. Ero neitseellisen ja seitsemän kertaa kierrätetyn materiaalin välillä oli prosentuaalisesti noin luokkaa 23 %. Ero oli huomattavissa etenkin tutkittaessa tuloksissa esitettyä jännitystä suhteessa venymään. Materiaalin kuivauksella ei ollut havaittavissa huomattavaa vaikutusta vetokokeiden tuloksissa, koska havitut erot olivat pieniä luokkaa 1-2 % ja ne vaihtelivat puolelta toiselle kierrätyskertojen välillä. Materiaalierien välillä lujuudessa oli havaittavissa noin 7 %:n ero erällä 4864595 ollessa pienempi murtolujuus. Neitseellisen materiaalin osalta vetokokeesta saadut tulokset olivat samaa luokkaa kuin valmistajan ilmoittamat lujuusarvot materiaalidatataulukossa.

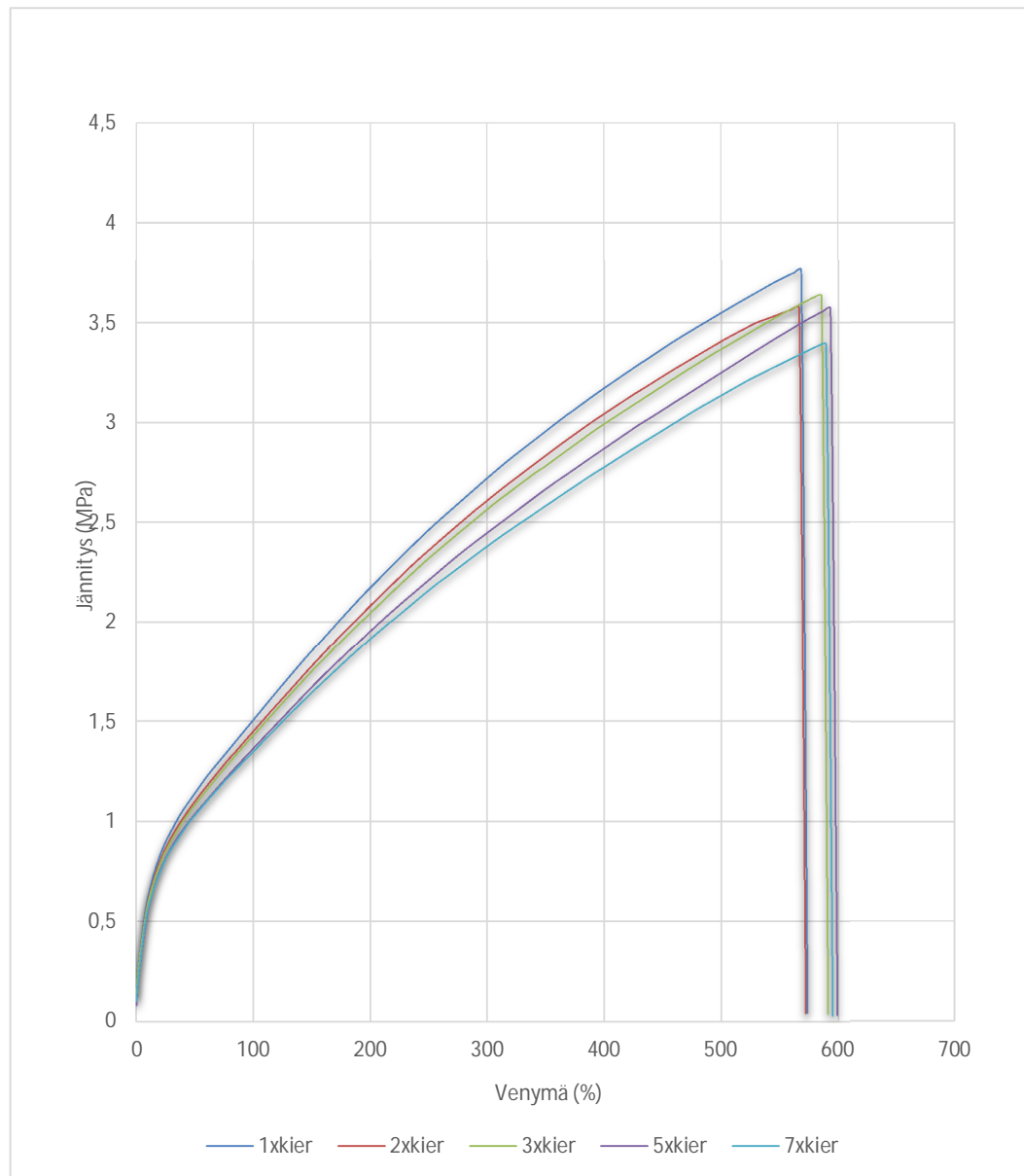
UV-vanhennus ei juurikaan vaikuttanut materiaalin lujuusominaisuuksiin, vaan osassa suoritetuissa testeissä UV-vanhennetuilla koesauvoilla oli jopa hieman suurempi murtolujuus kuin UV-vanhentamattomilla koesauvoilla. Tämä havainto esiintyi nollanäytteiden tuloksissa kun taas kierrätetystä materiaalista valmistetuilla koesauvoilla UV-vanhennus heikensi mitattuja lujuusarvoja hieman. Tulokset vaihtelivat hieman puolilta toiselle, mutta kokonaisuutena voidaan todeta, että UV-vanhennuksella ei ollut heikentävää vaikutusta materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin havaittujen erojen ollessa pienempiä kuin tuloksissa oleva keksihajonta. Vetokokeessa leukojen väliksi asetettiin 80 mm:ä ja vetonopeutena käytettiin 500 mm/min. Tulokset ovat esitetty alla olevissa kuvioissa 18-21 ja taulukoissa 1-3. Tuloksissa esitetyt arvot ovat keskiarvoja viiden kokeen otoksista.



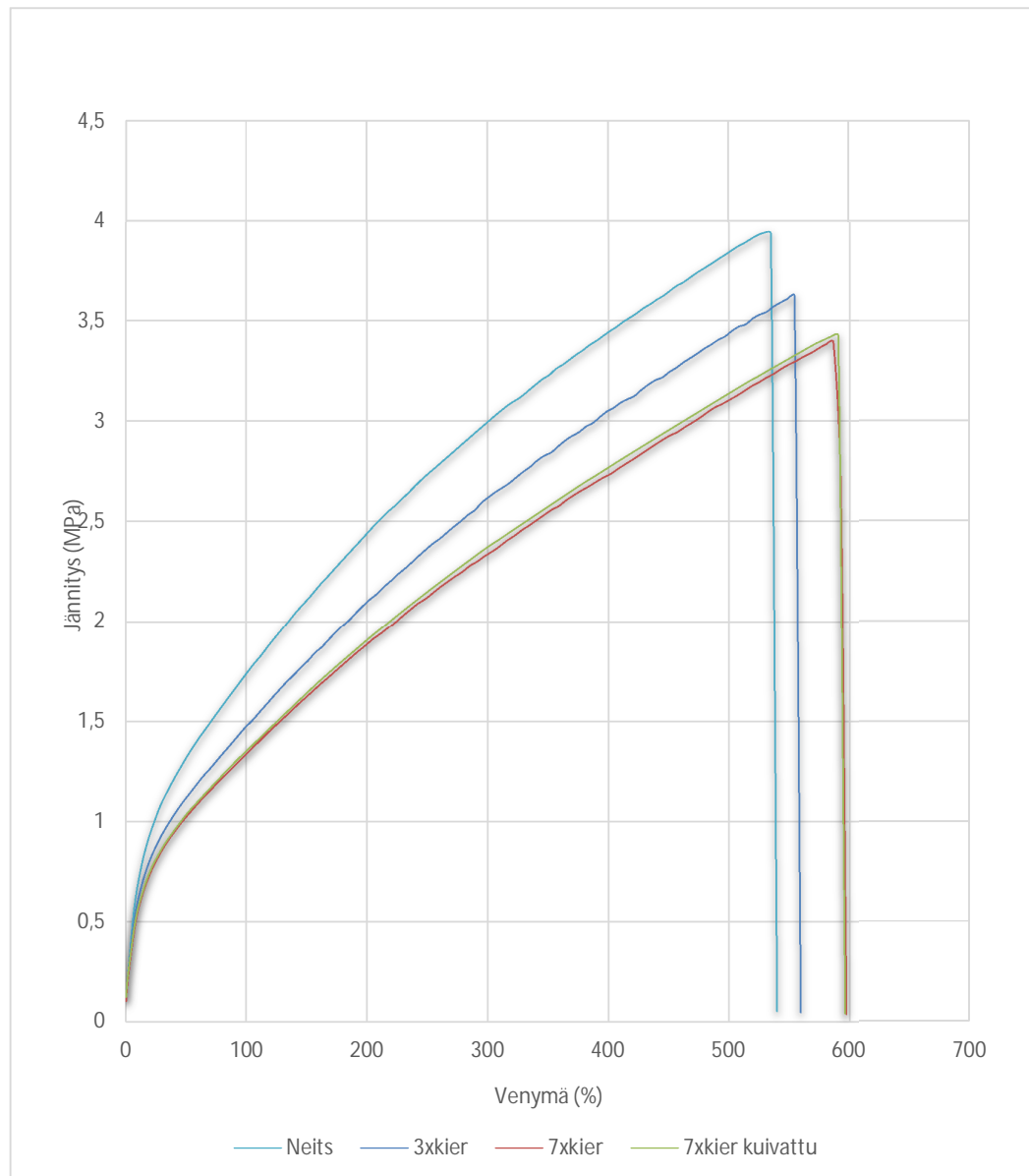
KUVIO 18. Vetokoe jännitysvenymäpiirros: PolyOne Onflex, SEBS, (neitseellinen materiaali)



KUVIO 19. Vetokoe jännitysvenymäpiirros: PolyOne Onflex, SEBS, (kierrätetty kuivattu materiaali)



KUVIO 20. Vetokoe jännitysvenymäpiirros: PolyOne Onflex, SEBS, (kierrätetty kuivaamaton materiaali)



KUVIO 21. Vetokoe jännitysvenymäpiirros: PolyOne Onflex, SEBS, (Uv-vanhennetut näytteet)

TAULUKKO 1. Vetokoe: PolyOne Onflex, SEBS, neitseellinen materiaali
(nollanäytteet)

Näyte		Murtolujuus (MPa)	Murtovenymä (%)	Vetolujuus 100% (MPa)	Vetolujuus 300% (MPa)	Murtovoima (N)
Neits. 4853267 kuivattu	ka.	4,3	643,6	1,7	2,9	166,5
	kh.	0,1	28,4	0,0	0,0	3,8
Neits. 4853267 kuivaamaton	ka.	4,3	640,1	1,7	3,0	166,7
	kh.	0,1	33,5	0,0	0,0	3,9
Neits. 4864595 kuivattu	ka.	4,0	636,3	1,6	2,8	156,8
	kh.	0,1	16,3	0,0	0,0	2,1
Neits. 4864595 kuivaamaton	ka.	3,9	635,8	1,6	2,8	153,5
	kh.	0,1	36,8	0,0	0,0	3,9

TAULUKKO 2. Vetokoe: PolyOne Onflex, SEBS, kierrätetty materiaali

Näyte Erä:4853267		Murtolujuus (MPa)	Murtovenymä (%)	Vetolujuus 100% (MPa)	Vetolujuus 300% (MPa)	Murtovoima (N)
1xkier kuivattu	ka.	3,9	600,6	1,5	2,7	152,4
	kh.	0,1	22,4	0,0	0,0	2,2
1xkier kuivaamaton	ka.	3,8	568,2	1,5	2,7	146,9
	kh.	0,1	36,2	0,0	0,0	4,5
2xkier kuivattu	ka.	3,5	541,1	1,5	2,6	137,1
	kh.	0,1	17,8	0,0	0,0	3,8
2xkier kuivaamaton	ka.	3,6	566,3	1,5	2,6	139,5
	kh.	0,1	59,7	0,0	0,0	5,6
3xkier kuivattu	ka.	3,6	585,5	1,4	2,5	138,8
	kh.	0,1	46,9	0,0	0,0	5,1
3xkier kuivaamaton	ka.	3,6	585,3	1,4	2,6	141,7
	kh.	0,1	47,9	0,0	0,0	5,3
5xkier kuivattu	ka.	3,5	585,2	1,4	2,5	135,8
	kh.	0,1	36,9	0,0	0,0	4,4
5xkier kuivaamaton	ka.	3,6	593,1	1,4	2,4	139,3
	kh.	0,1	19,0	0,0	0,0	3,4
7xkier kuivattu	ka.	3,3	577,2	1,3	2,4	130,0
	kh.	0,1	35,6	0,0	0,0	4,4
7xkier kuivaamaton	ka.	3,4	589,5	1,3	2,4	132,2
	kh.	0,1	44,0	0,0	0,0	4,5

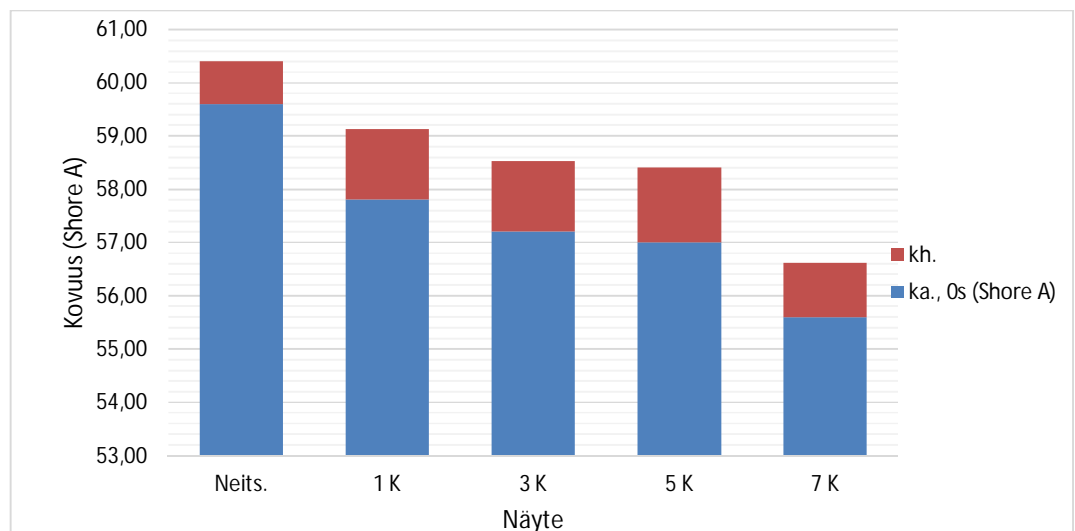
TAULUKKO 3. Vetokoe: PolyOne Onflex, SEBS, UV-vanhennetut näytteet

Näyte Erä:4853267		Murtolujuus (MPa)	Murtovenymä (%)	Vetolujuus 100% (MPa)	Vetolujuus 300% (MPa)	Murtovoima (N)
Neits. UV 500	ka.	4,3	589,6	1,8	3,1	167,2
	kh.	0,1	16,2	0,0	0,0	3,2
Neits. UV 1000	ka.	3,9	534,1	1,7	3,0	153,4
	kh.	0,2	36,1	0,0	0,0	6,2
Neits. UV 2000	ka.	4,3	636,6	1,7	3,0	168,3
	kh.	0,1	16,0	0,0	0,0	2,4
Neits. UV 3000	ka.	4,1	602,7	1,6	2,9	158,5
	kh.	0,2	48,8	0,0	0,0	7,4
3xkier. UV 1000	ka.	3,6	553,9	1,5	2,6	141,4
	kh.	0,2	57,0	0,0	0,0	9,6
3xkier UV 3000	ka.	3,5	541,8	1,4	2,6	136,5
	kh.	0,2	45,1	0,0	0,0	6,3
7xkier. UV1000	ka.	3,4	591,0	1,3	2,3	132,5
	kh.	0,2	42,4	0,0	0,0	6,4
7xkier UV 3000	ka.	3,3	567,5	1,4	2,4	129,0
	kh.	0,2	42,9	0,0	0,0	6,0

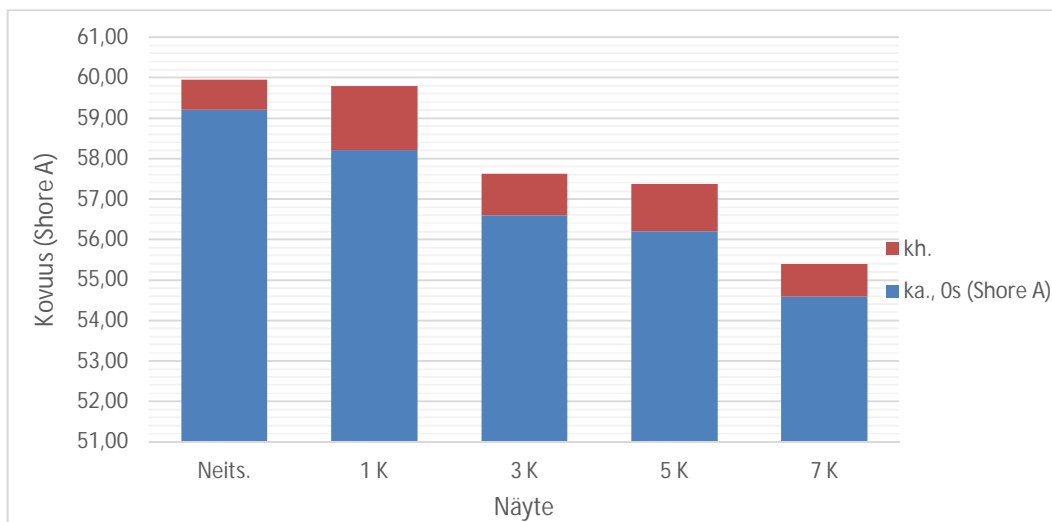
8.3 Kovuus (Shore A)

Alla on esitetty kovuusmittausten tulokset molemmista materiaalieristä (PolyOne Onflex, SEBS) kuivaamattomalle, kuivatulle, sekä kierrätetylle (Erä:4853267) materiaalille. Kovuusmittaukset suoritettiin standardin SFS-EN ISO 868 mukaisesti.

Tuloksissa on havaittavissa melko selkeästi materiaalin kovuuden laskeminen suhteessa prosessointikertojen lukumäärään. Erot neitseellisen ja seitsemän kertaa kierrätetyn materiaalin välillä olivat prosentuaalisesti luokkaa 8-9 %. Tulokset keskihajonta mukaan lukien ovat esitetty alla olevissa kuvioissa 22-23 ja taulukoissa 4-6.



KUVIO 22. Shore A kovuus: PolyOne OnFlex, SEBS, kuivaamaton materiaali (Erä: 4853267)



KUVIO 23. Shore A kovuus: PolyOne OnFlex, SEBS, kuivattu materiaali (Erä:4853267)

TAULUKKO 4. Shore A kovuudet: PolyOne OnFlex, SEBS, neitseellinen materiaali

Erä : 4864595				
Näyte	ka., 0s	kh.	ka., 15s	kh.
Kuivaamaton neits.	57,4	1,0	51,4	0,8
Kuivattu neits.	56,4	1,6	50,4	0,8

TAULUKKO 5. Shore A kovuudet: PolyOne OnFlex, SEBS, kuivaamaton materiaali

Erä: 4853267 Kuivaamaton				
Näyte	ka., 0s (Shore A)	kh.	ka., 15s	kh.
Neits.	59,6	0,8	53,8	0,8
1 K	57,8	1,3	51,0	0,6
3 K	57,2	1,3	49,8	0,8
5 K	57,0	1,4	49,0	0,9
7 K	55,6	1,0	48,2	0,8

TAULUKKO 6. Shore A kovuudet: PolyOne OnFlex, SEBS, kuivattu materiaali.

Erä: 4853267 Kuivattu				
Näyte	ka., 0s	kh.	ka., 15s	kh.
Neits.	59,2	0,8	53,4	0,5
1 K	58,2	1,6	51,2	0,8
3 K	56,6	1,0	49,4	0,5
5 K	56,2	1,2	48,6	0,5
7 K	54,6	0,8	47,2	0,4

8.4 Viskositeetin mittauss

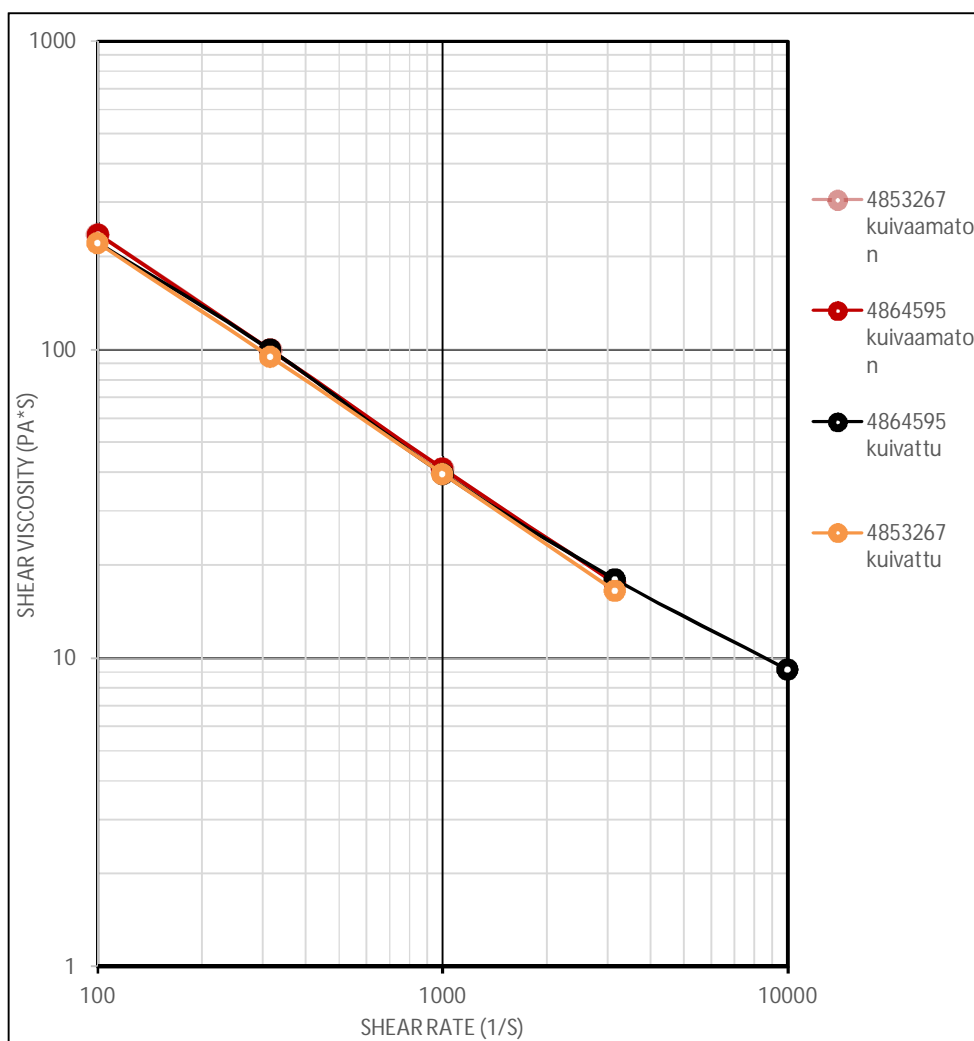
Taulukoissa 7 on esitetty mittauksessa käytetyt lämpötilat sekä taulukossa 8 on esitetty viskositeetti suhteessa leikkausnopeuteen. Kuvioissa 24-26 on esitetty viskositeettikuvaajat kummastakin raaka-aine erästä kuivaamattomalle ja kuivatulle neitseelliselle materiaalille sekä kierrätetylle materiaalille (Erä: 4853267). Kuvaajan pysty akseli kuvaa materiaalin leikkausviskositeettiä (Pa*s) ja vaaka-akseli leikkausnopeutta (1/s). Tuloksissa on havaittavissa pienehköä viskositeetin ohenemista suhteessa kierrätyskertojen lukumäärään. Materiaali erien välillä ja materiaalin kuivauksella ei ollut havaittavissa eroja viskositeetissä. Prosentuaalisesti erot viskositeetissa olivat kierrätetyn ja neitseellisen materiaalin välillä luokkaa 13- 15 %, kun tutkitaan viskositeetin muutosta leikkausnopeus välillä 316- 3163 1/s. Käytetyt parametrit olivat kaikissa mittauksissa samat.

TAULUKKO 7. Käytetyt sylinteri -ja suutinlämmöt viskositeetin mittauksessa.

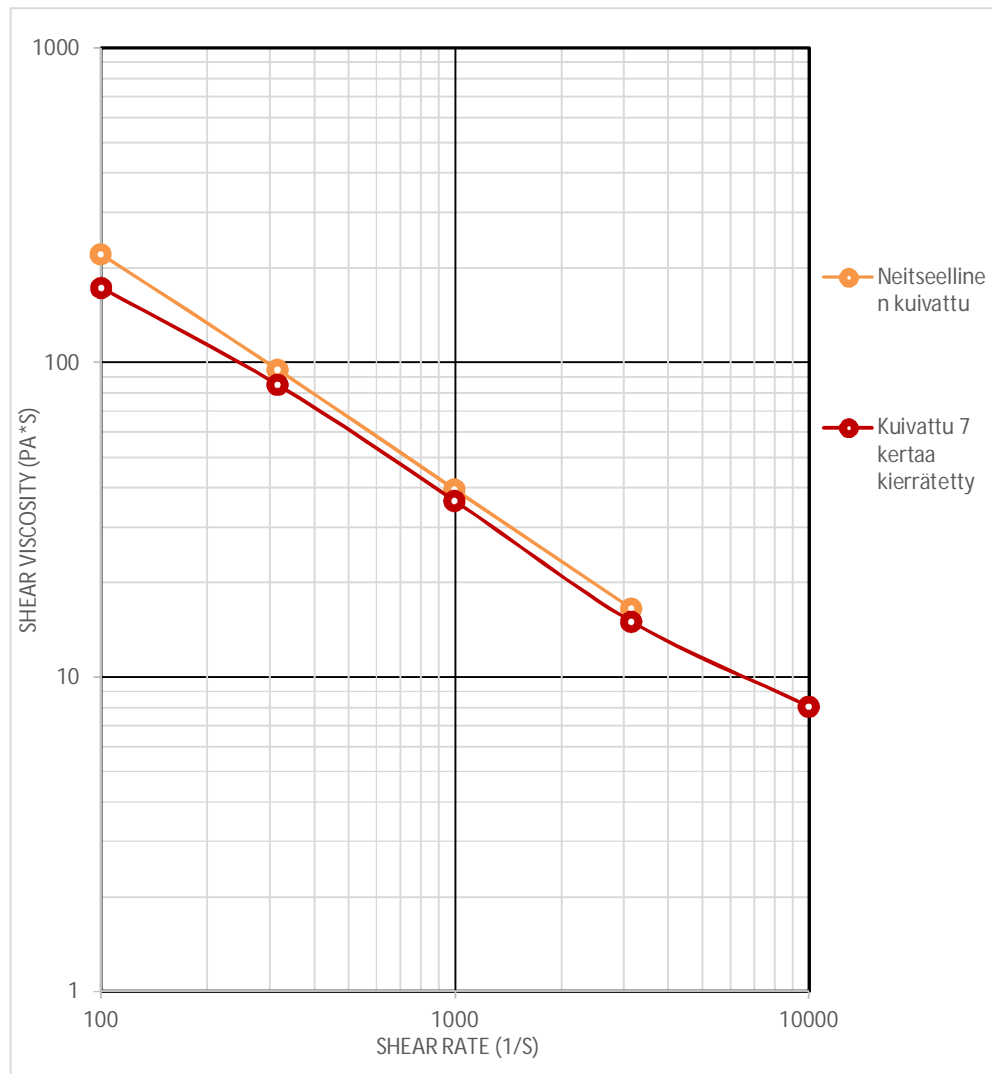
TTop (°C)	TMid (°C)	TDie (°C)
200	200	200

TAULUKKO 8. Viskositeettimittauksen tulokset PolyOne OnFlex, SEBS (Erät: 4853267 ja 4864595)

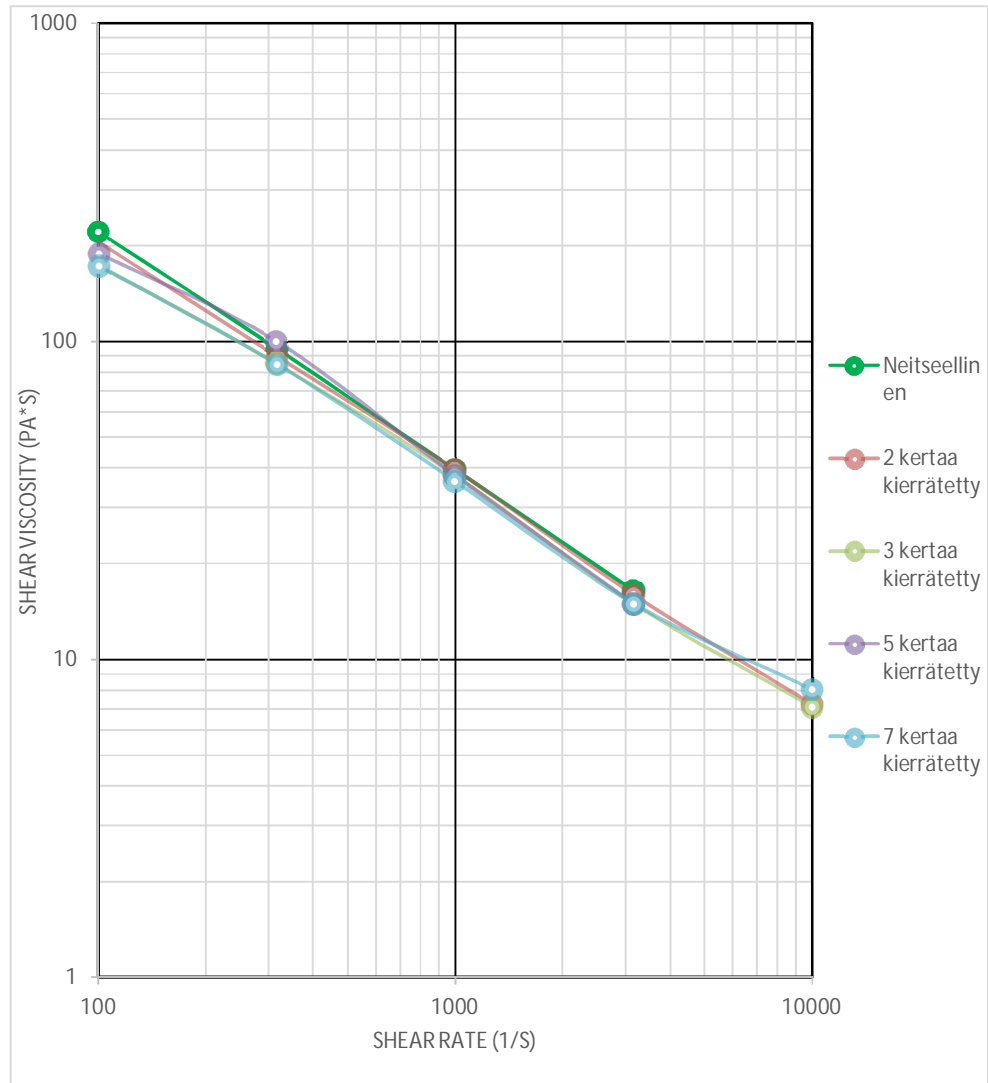
Näyte	Shear rate (1/s)	100	316	1000	3163	10000
4864595 neits.kuivaamaton	Shear viscosity (Pa*s)	235,6	99,8	41,1	17,5	-
4864595 neits.kuivattu	Shear viscosity (Pa*s)	223,0	99,8	39,4	18,0	9,2
4853267 neits.kuivaamaton	Shear viscosity (Pa*s)	236,7	99,8	41,1	17,5	-
4853267 neits.kuivattu	Shear viscosity (Pa*s)	220,9	94,8	39,5	16,5	-
4853267 kuivattu 2xkier	Shear viscosity (Pa*s)	206,1	89,8	39,5	16,0	7,3
4853267 kuivattu 3xkier	Shear viscosity (Pa*s)	174,4	85,3	37,9	15,0	7,1
4853267 kuivattu 5xkier	Shear viscosity (Pa*s)	173,6	104,8	36,3	16,0	6,9
4853267 kuivattu 7xkier	Shear viscosity (Pa*s)	172,8	84,8	36,3	15,0	8,1



KUVIO 24. Viskositeettikuvaaja: PolyOne OnFlex, SEBS, neutseellinen kuivattu ja kuivaamaton materiaali (erät:4853267 ja 4864595)



KUVIO 25. Viskositeettikuvaaja: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267)
neitseellinen ja 7-kertaa kierrätetty kuivattu materiaali



KUVIO 26. Viskositeettikuvaaja: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267)
neitseellinen ja kierrätetty materiaali

8.5 Kosteusprosentti

Alla on esitetty materiaalierien mitatut kosteusprosentit sekä vertailumateriaali polyamidin kosteusprosentti. Kummassakin tutkittavassa materiaalierässä kosteusprosentti oli hyvin alhainen vertailtaessa polyamidin kosteusprosenttiin. Mitattujen kosteusprosenttien perusteella materiaalia ei tarvitse kuivata ennen prosessointia.

Näyte: Polyone onflex SEBS erä:4864595

Paino ennen kuivausta: 27,1803g

Paino kuivauksen jälkeen: 27,1597g

Kosteusprosentti: 0,08 %

Näyte: Polyone onflex SEBS erä: 4853267

Paino ennen kuivausta: 29,3994g

Paino kuivauksen jälkeen: 29,3724g

Kosteusprosentti: 0,09 %

Näyte: Basf ultramid polyamid

Paino ennen kuivausta: 26,0172 g

Paino kuivauksen jälkeen: 25,7936 g

Kosteusprosentti: 0,86 %

8.6 Värimuutos mittaus

Värimittaus suoritettiin neitseelliselle materiaalille (molemmat materiaalierät), 7-kertaa kierrätetylle materiaalille ja UV-vanhennetulle materiaalille (Erä:4853267). Värimittauksella tutkittiin, aiheutuuko kierrätyksestä ja UV-vanhennuksesta muutosta materiaalin väriin.

Tuloksissa havaitut erot ovat todella pieniä ja suurin osa niistä johtuu normaalihajonnasta. Silmällä katsottaessa ei ollut havaittavissa minkäänlaista muutosta värissä näytteiden välillä. Pieni silmällä havaittavissa oleva ero vaatii muutoksen asteikon lukuna kahdesta ylöspäin. Johdonmukaiset erot ovat havaittavissa b-asteikossa, jossa UV-vanhennetuilla näytteillä keltaisuus oli hieman lisääntynyt. Värimittauspöytäkirja ja tulokset on esitetty liitteessä 17.

8.7 FTIR

FTIR:llä suoritettiin mittauksia kuivaamattomalle ja kuivatulle materiaalille (molemmat materiaalierät) sekä kierrätetyille ja UV-vanhennetuille näytteille (erä:4853267). Mittaukset otettiin koeksuvojen pinnasta ja poikkileikkauksesta. Näytteiden pinnasta otetuissa spektreissä oli havaittavissa muutosta UV-vanhennetuilla ja kierrätetyillä näytteillä verrattuna nollanäytteisiin, mutta poikkileikkausta otetuissa spektreissä ei ollut havaittavissa muutosta vanhennettuiden, kierrätettyjen ja nollanäytteiden välillä. Kosteutta ei ollut havaittavissa kuivaamattomien näytteiden spektreistä, eikä materiaalierien välillä ollut eroja spektrissä. Materiaalin kierrätys aiheutti pinnasta otetuissa spektreissä, havaittujen piikkien aaltolukujen perusteella hapettumista (karboksyylihapo) ja aminien muodostumista, joka hyvin tavallinen muutos vertailtaessa kierrätettyä materiaalia neitseelliseen. UV -vanhennus aiheutti näytteen pinnasta otetuissa spektreissä aaltolukujen perusteella muutoksen esteriryhmässä, jonka piikki oli hävinnyt spektristä. Tämä viittaa esterin hajoamiseen UV-säteilyn vaikutuksesta. Esteriä käytetään todennäköisesti pehmittimenä materiaalissa, ja tätä tukee myös havainto näytteen pinnan kovenemisesta vanhennuksen jälkeen. FTIR:n spektrit ovat esitetty liitteissä 11-16.

8.8 DSC

DSC:n tuloksissa oli havaittavissa pienekkö ero kuivaamattomien ja kuivatuiden näytteiden välillä kiteytymisentalpiassa, joka oli kuivatuilla näytteillä hieman suurempi. Tämä voi johtua pienekköstä kosteudesta kuivaamattomissa näytteissä. Myös materiaali erien välillä oli havaittavissa pieni, mutta ei merkittävä ero kiteytymislämpötilassa. Tulokset on esitetty liitteissä 2-9.

9 YHTEENVETO

Työn teoriaosuus keskittyi yleisimmin käytössä olevien termoelastomeerien esittelyyn. Lisäksi perehdyttiin termoelastomeerien markkinoiden sekä käytön tulevaisuuden näkymiin. Teoriaosuudessa käsiteltiin myös kosteiden, kierrätyksen ja UV-säteilyn vaikutusta polymeerien ominaisuuksiin yleisellä tasolla pohjustaen kokeellisessa osuudessa materiaalille suorittavia testauksia. Kokeellisen osuuden toteutus oli melko laaja ja työläs prosessi eikä ongelmittakaan kokonaan välttytty. Työn alkuvaiheessa koesauvojen valmistamiseen käytetty ruiskuvalumuotti aiheutti ongelmia, kun materiaali pääsi satunnaisesti vuotamaan tukittuun toiseen muottipesään, mutta suoritettujen vetokokeiden perusteella tällä ei kuitenkaan ollut vaikutusta materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin verrattuna korjatulla muotilla valmistettuihin koesauvoihin. Työn teko aloitettiin toteuttamalla ensin materiaalin kierrätyksen valmistamalla materiaalin ruiskuvalukoneella koesauvoiksi ja rouhimalla ne takaisin rouheeksi tämä vaihe toistettiin kaikkiaan 8-kertaa. Koesauvoja otettiin suoritettavia testejä varten talteen 1,2,3,5,7 kertaa kierrätetystä materiaalista.

Ruiskuvalun rinnalla toteutettiin lisäksi viskositeettimittaukset, jolla voitiin havainnoida mahdolliset muutokset viskositeetissä kierrätetyllä materiaalilla. Neitseellisestä materiaalista valmistetut koesauvat toimivat vertailupohjana tutkittaessa kierrätyksen ja UV-vanhennuksen vaikutusta. Kierrätys suoritettiin kuivaamattomalle ja kuivatulle materiaalille. Työssä vertailtiin lisäksi toista samaa materiaalia olevaa eri materiaalierää. Kun ruiskuvalukoneella suoritettavat ajot oli saatu valmiiksi, aloitettiin materiaalin UV-vanhennus, jossa vanhennettiin neitseellisestä ja kierrätetystä materiaalista valmistettuja koesauvoja. UV- vanhennuksen pituutta jatkettiin alun perin suunnitellusta 1000 tunnista 3000 tuntiin asti, jotta voitiin nähdä ja tutkia sen vaikutusta pidemmältä aikaväliltä. Tämä tosin viivästytti työn valmistumista keväälle 2015. Kierrätetylle ja UV-vanhennetulle materiaalille suoritettujen mekaanisten ja kemiallisten kokeiden tuloksia vertailtiin neitseellisen materiaalin koetuloksiin.

Kierrätetyllä materiaalilla tuloksista oli havaittavissa vetolujuuden, materiaalin kovuuden ja viskositeetin melko lineaarinen aleneminen suhteessa prosessointikertojen lukumäärään. UV-vanhennus ei merkittävästi heikentänyt materiaalin mekaanisia ominaisuuksia, mutta se aiheutti materiaalin pinnan koventumisen säteilyn vaikutuksesta ja pienen muutoksen värissä värimittausten perusteella. UV-vanhennetuilla koesauvoilla vetolujuus oli jopa paikoin suurempi neitseellisellä materiaalilla. Materiaalierien välillä oli pieni ero vetolujuudessa ja kiteytymislämpötilassa. Kosteusprosentissa, viskositeetissa, värissä ja kovuudessa ei ollut mittaustulosten perusteella merkittävää eroa materiaalierien välillä. Työstä jätettiin lopulta pois aiemmin tehtäväksi suunnitellut öljyn- ja palonkestomittaukset. Ne olisivat viivästyttäneet liikaa työn lopullista valmistumista ja niistä saatava tieto oli jo valmiiksi saatavissa Laura-Kaisa Aaltosen Diplomityössä teknisten muovien kierrätys. Lopuksi haluan vielä kiittää Pirkko Järvelää mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja Reijo Heikkistä opastuksesta ja avusta työn suorituksessa.

LÄHTEET

PAINETUT LÄHTEET

Jaarinen, S & Niiranen, J. 2005. Laboratorion analyysitekniikka. 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy

Järvinen, P. 2008 Uusi muovitieto. Muovifakta Oy

Klyosov A. 2007, Wood Plastic Composites. Wiley: New York.

Kurri, V., Malén, T, Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Seppälä, J. 2005. Polymeeriteknologian perusteet. 5. tarkistettu ja korjattu painos. Otatieto Oy

SFS-EN ISO 527-1, 2012 Plastics. Determination of tensile properties Part 1. General principles

SFS-EN ISO 868, 2003 Muovit ja eboniitti tunkeuma kovuuden määrittäminen durometrillä. (Shore-kovuus)

SFS-EN ISO 4892-3, 2013 Plastics. Methods of exposure to laboratory light sources. Part 3 .Fluorescent UV-lamps

SFS-EN ISO 11357-1, 2010 Plastics. Differential scanning calorimetry (DSC). Part 1. General principles

SFS-EN 15483, 2008 Atmospheric measurements near ground with FTIR spectroscopy

Tammela, V. 1989 Polymeeritiede ja muovitekniikka osa 3. Otatieto Oy

ELEKTRONISET LÄHTEET

Ekokem Oy 2014. Ekoasiaa sidosryhmälehti 1/2014 [viitattu 20.03.2015].

Saatavissa: <http://www.ekokem.fi/fi/julkaisut/ekoasiaa-sidosryhmalehti>

Lappeenrannan teknillinen yliopisto/kurssit/05-06/luento 2-1

värinmuodostus ja värinhallinta [viitattu 10.12.2014]. Saatavissa:

http://www2.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5318400/DVKII_luento2-1_varinmuodostus_ja_varinhallinta_2006.pdf

Mueller- kunststoffe. What is tpe? Polymer family tree [viitattu 4.12.2014].

Saatavissa: <http://www.mueller-kunststoffe.com/en/what-is-tpe.htm>

Muovimuotoilu. Ruiskuvalu [viitattu 09.09.2014]. Saatavissa:

<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/150/214/>

Muovimuotoilu. TPE tyypit [viitattu 09.09.2014]. Saatavissa:

<http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/39/71/>

Neitseellisen materiaalin hinnan kehitys [viitattu 10.04.2015]. Saatavissa:

http://plasticer.de/preise/marktbericht2_en.php?j=14&mt=12&quelle=bvse

Overview of materials for Thermoplastic Elastomer (TPE) [verkkojulkaisu],

Matweb, LLC [viitattu 21.03.2015]. Saatavissa:

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3923be25ff7e4125b60d125399f1ed5e&ckck=1>

Plastics Europe 2014. Thermoplastic polyester elastomer (TPE-E),

Recycling and Recovery [viitattu 4.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics/tpe-e.aspx>

Plastic Information Europe TPE Global market [viitattu 17.10.2014].

Saatavissa:

http://www.plasteurope.com/news/THERMOPLASTIC_ELASTOMERS_t22627

Polymerik Oy. Termoplastiset elastomeerit [viitattu 10.01.2015].

Saatavissa: <http://polymerik.pp.fi/pdf/Osa11-Termoplastiset-elastomeerit.pdf>

Tampereen teknillinen yliopisto/materiaalioppi [viitattu 10.03.2015].

Saatavissa: <http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/laitokset/materiaalioppi/tutkimus/tutkimuslaitteet/terminen-analyysi-ja-palonkeston-tutkimus/dsc/index.htm>

TTY/Polymeerimateriaalien perusteet [viitattu 15.3.2015]. Saatavissa:

https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/PPDF/Polymeerimateriaalienperusteet_30_1_2009.pdf

TTY/polymeerimateriaalien perusteet osa 1 [viitattu 4.11.2014].

Saatavissa:

https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/Polymeerimateriaalien_perusteet_osa1.pdf

TTY/ Polymeerimateriaalien perusteet osa 2 [viitattu 4.11.2014].

Saatavissa:

https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/Polymeerimateriaalien_perusteet_osa2.pdf

TTY/Polymeerimateriaalien perusteet osa 3 [viitattu 15.3.2015].

Saatavissa:

https://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/TTY/Perus/Polymeerimateriaalien_perusteet_osa3.pdf

Wikipedia.org/terminen analyysi [viitattu 10.03.2015]. Saatavissa:

http://fi.wikipedia.org/wiki/Terminen_analyysi

LIITTEET

LIITE 1. RUISKUVALUPÖYTÄKIRJA

LIITE 2. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS, (erä: 4864595). Neitseellinen kuivaamaton materiaali

LIITE 3. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS, (erä:4864595). Neitseellinen kuivattu materiaali

LIITE 4. DSC PolyOne OnFlex, SEBS, (erä:4853267). Neitseellinen kuivaamaton materiaali

LIITE 5. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Neitseellinen kuivattu materiaali

LIITE 6. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). 7-kertaa kierrätetty kuivaamaton materiaali

LIITE 7. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). 7-kertaa kierrätetty kuivattu materiaali

LIITE 8. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Neitseellinen Uv-vanhennettu materiaali

LIITE 9. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) 7-kertaa kierrätetty Uv-vanhennettu materiaali

LIITE 10. KOVUUSMITTAUSPÖYTÄKIRJA PolyOne OnFlex, SEBS
(ISO-868 Shore A Kovuus)

LIITE 11. FTIR: PolyOne OnFlex, SEBS (erät:4853267 ja 4864595).

Nollanäytteet pinnasta kuivaamaton ja kuivattu raaka-aine.

LIITE 12. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä: 4853267). Pinta näytteet (kuivattu materiaali)

LIITE 13. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Pinta ja poikkileikkausnäyte (1-kertaa kierrätetty)

LIITE 14. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Pinta ja poikkileikkausnäyte (3-kertaa kierrätetty)

LIITE 15. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) Pinta ja poikkileikkausnäyte. (7-kertaa kierrätetty)

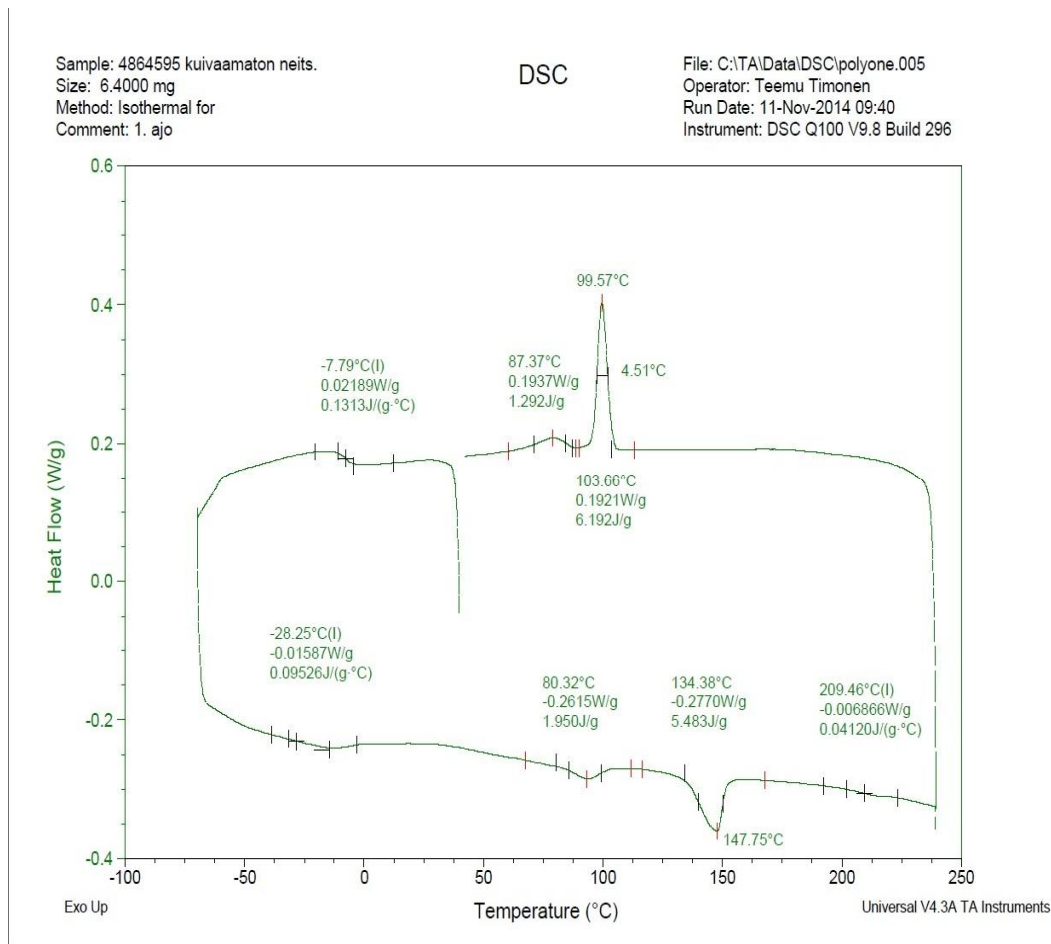
LIITE 16. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) Pintanäyte. (7-kertaa kierrätetty, 7-kertaa kierrätetty UV-vanhennettu)

LIITE 17 Värimuutos mittaus pöytäkirja

LIITE 1. RUISKUVALUPÖYTÄKIRJA

Ruiskuvalu pöytäkirja		
materiaali	Polyone Onflex	
ruiskutusnopeus	(mm/s)	60
ruiskutuspaine	(bar)	1200
jälkipaine	(bar)	400
jälkipaineaika	(s)	6
jäähdytysaika	(s)	30
annostelunopeus	(rpm)	200
synterilämmöt	1.(°C) suutin	200
	2.	200
	3.	180
	4.	160
muottilämpötilat	(°C)	30-37

LIITE 2. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS, (erä: 4864595). Neitseellinen
kuivaamaton materiaali

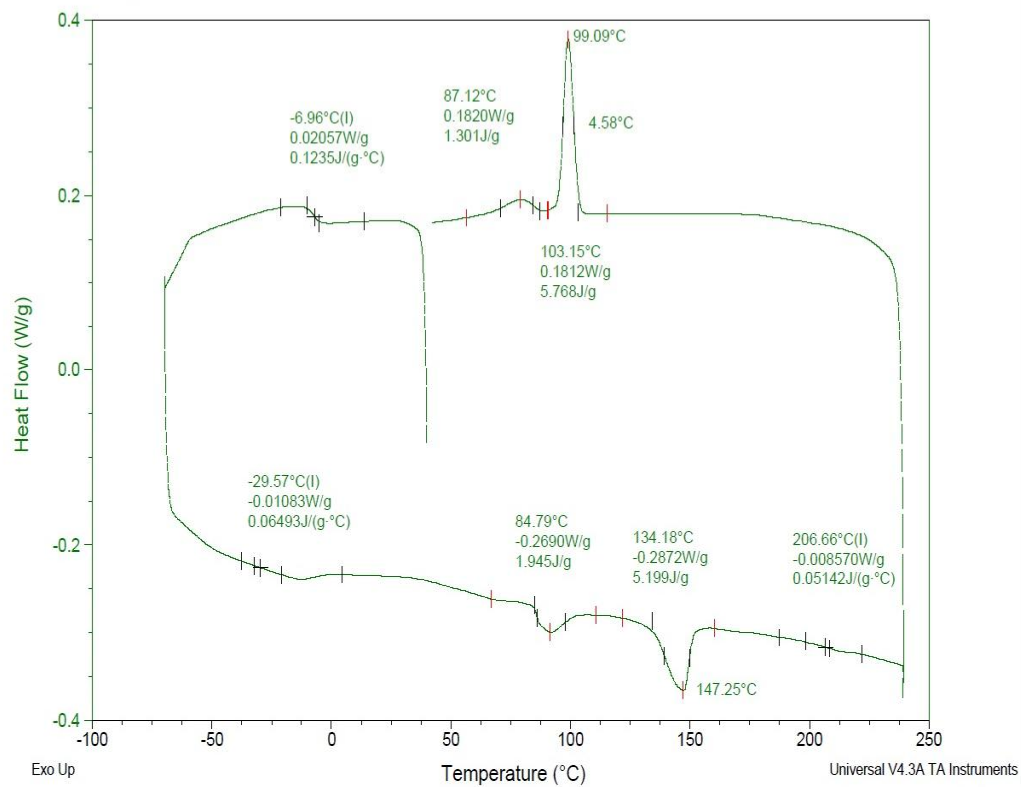


LIITE 3. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS, (erä:4864595). Neitseellinen
kuivattu materiaali

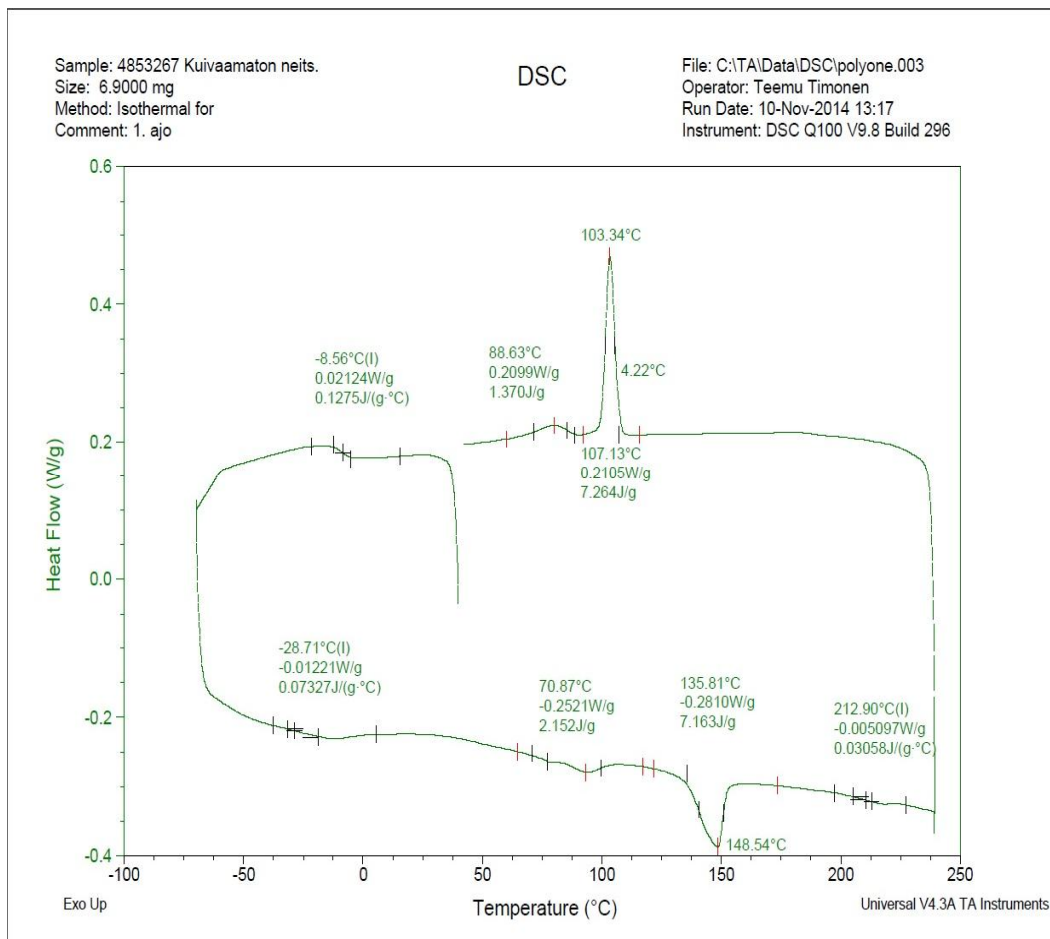
Sample: 4864595 kuivattu neitseellinen
Size: 6.2000 mg
Method: Isothermal for
Comment: 1. ajo

DSC

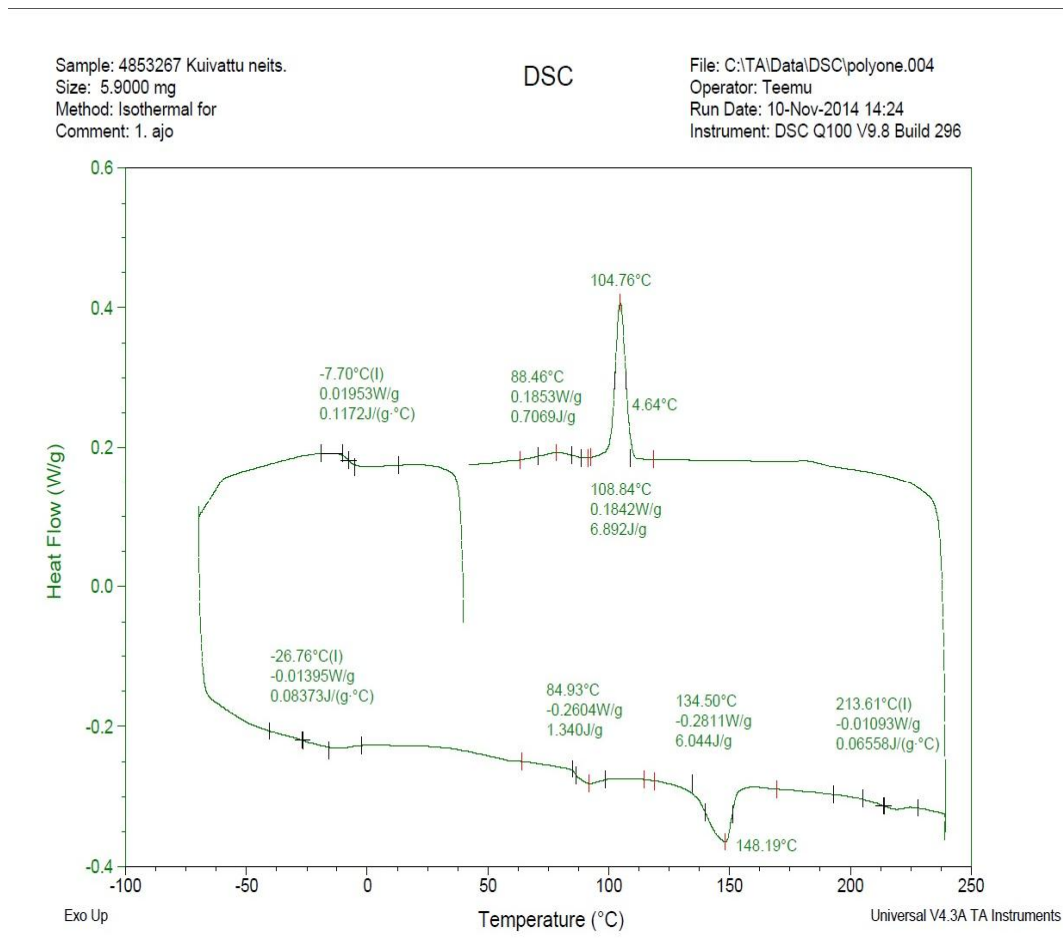
File: C:\TA\Data\DSC\polyone.012
Operator: Teemu Timonen
Run Date: 13-Nov-2014 11:59
Instrument: DSC Q100 V9.8 Build 296



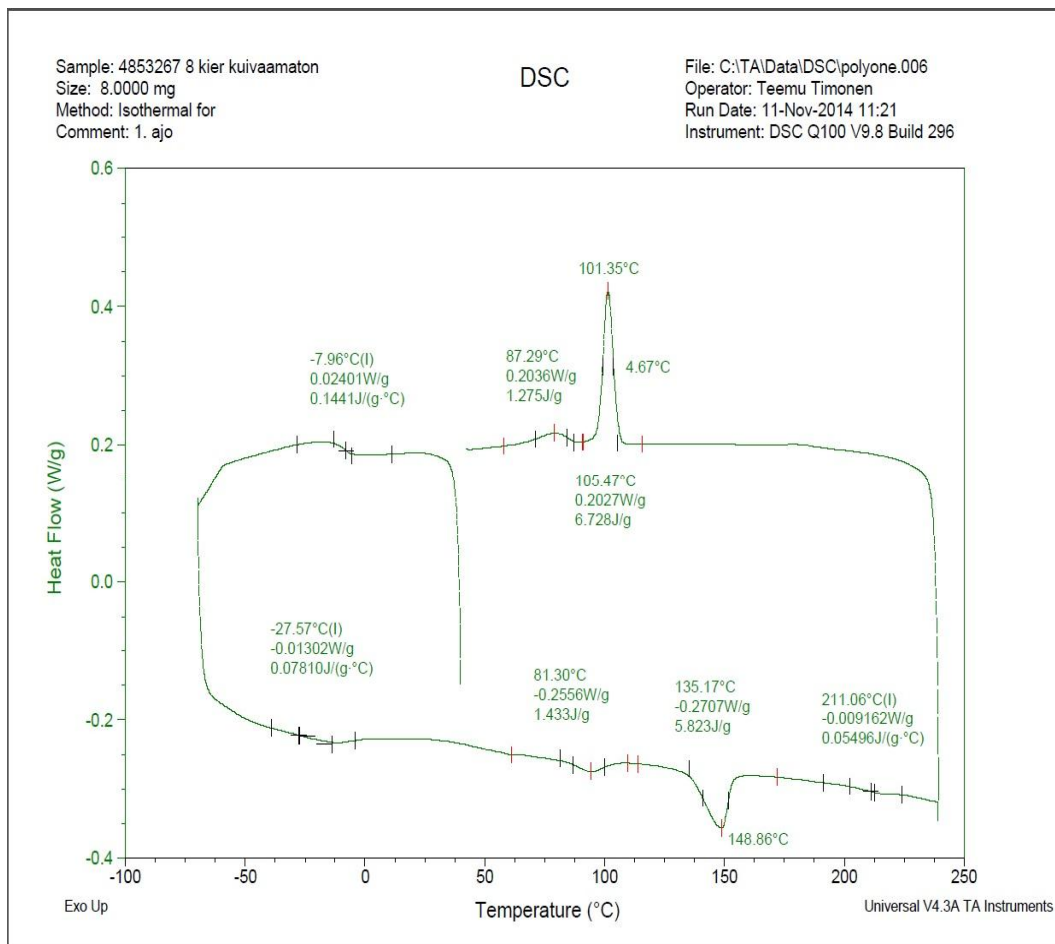
LIITE 4. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS, (erä:4853267). Neitseellinen
kuivaamaton materiaali



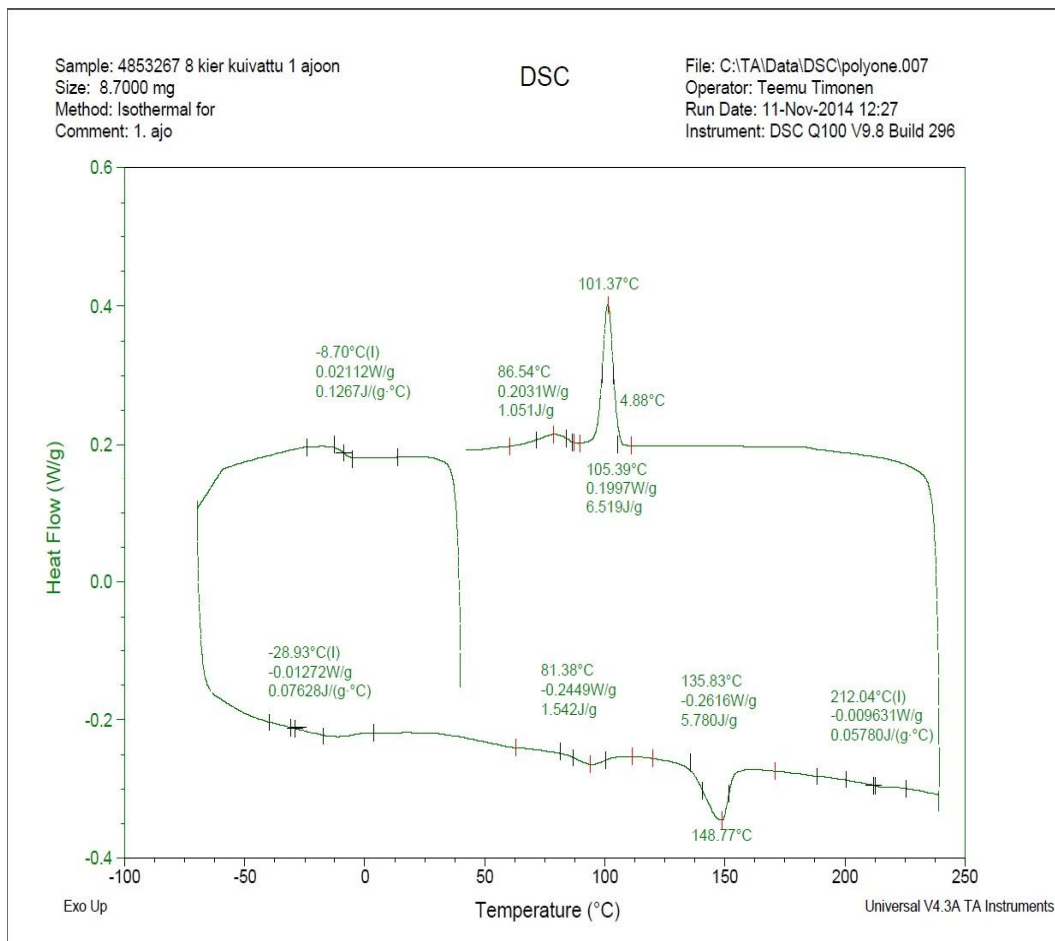
LIITE 5. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Neitseellinen
kuivattu materiaali



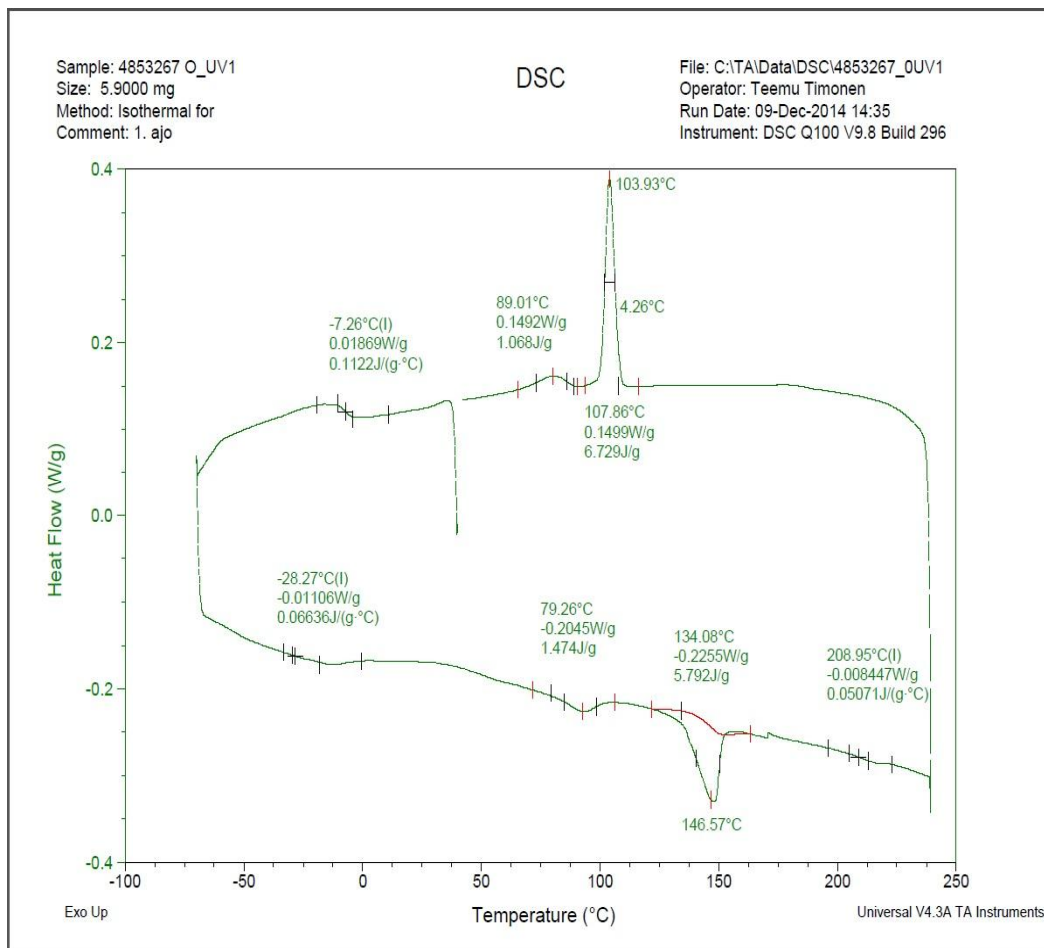
LIITE 6. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). 7-kertaa kierrätetty
kuivaamaton materiaali



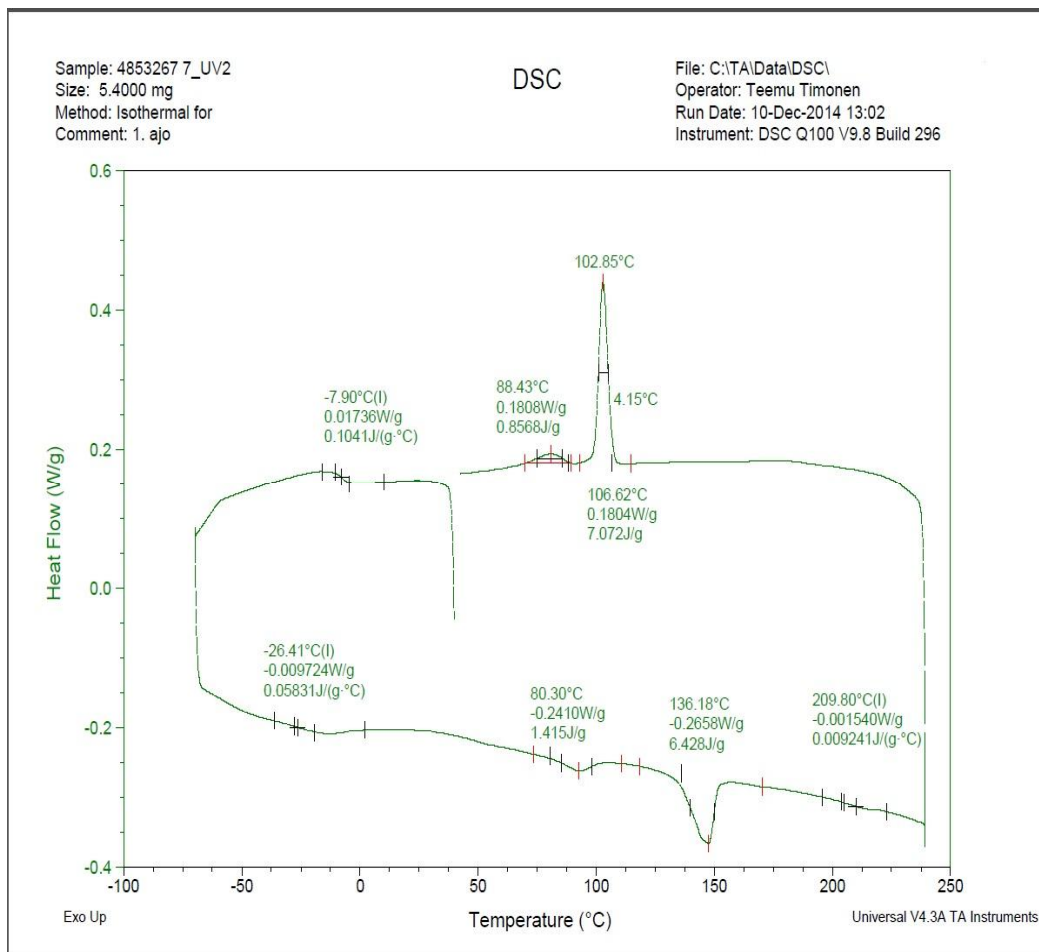
LIITE 7. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). 7-kertaa kierrätetty
kuivattu materiaali



LIITE 8. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Neitseellinen Uv-vanhennettu materiaali



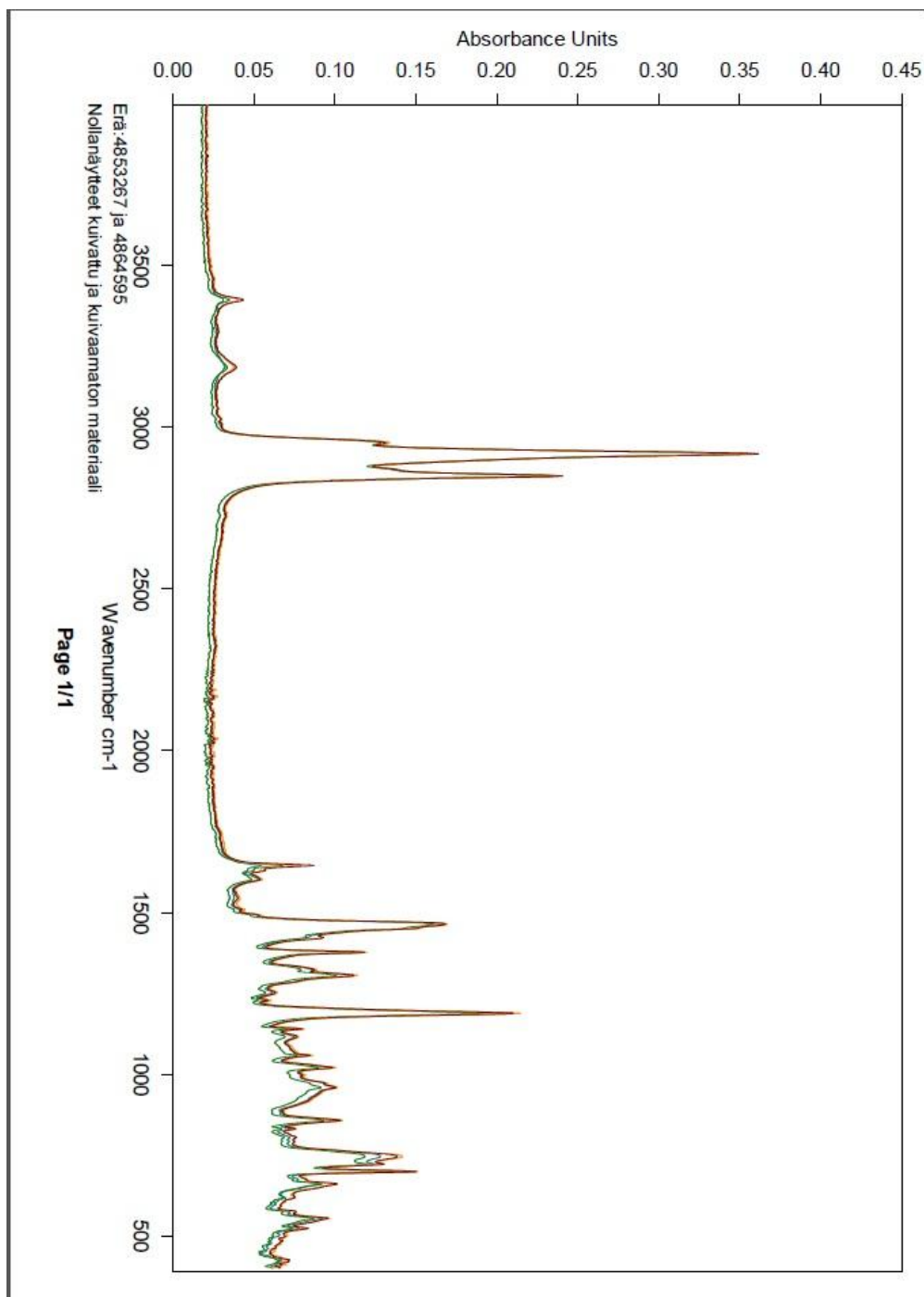
LIITE 9. DSC: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) 7-kertaa kierrätetty
Uv-vanhennettu materiaali



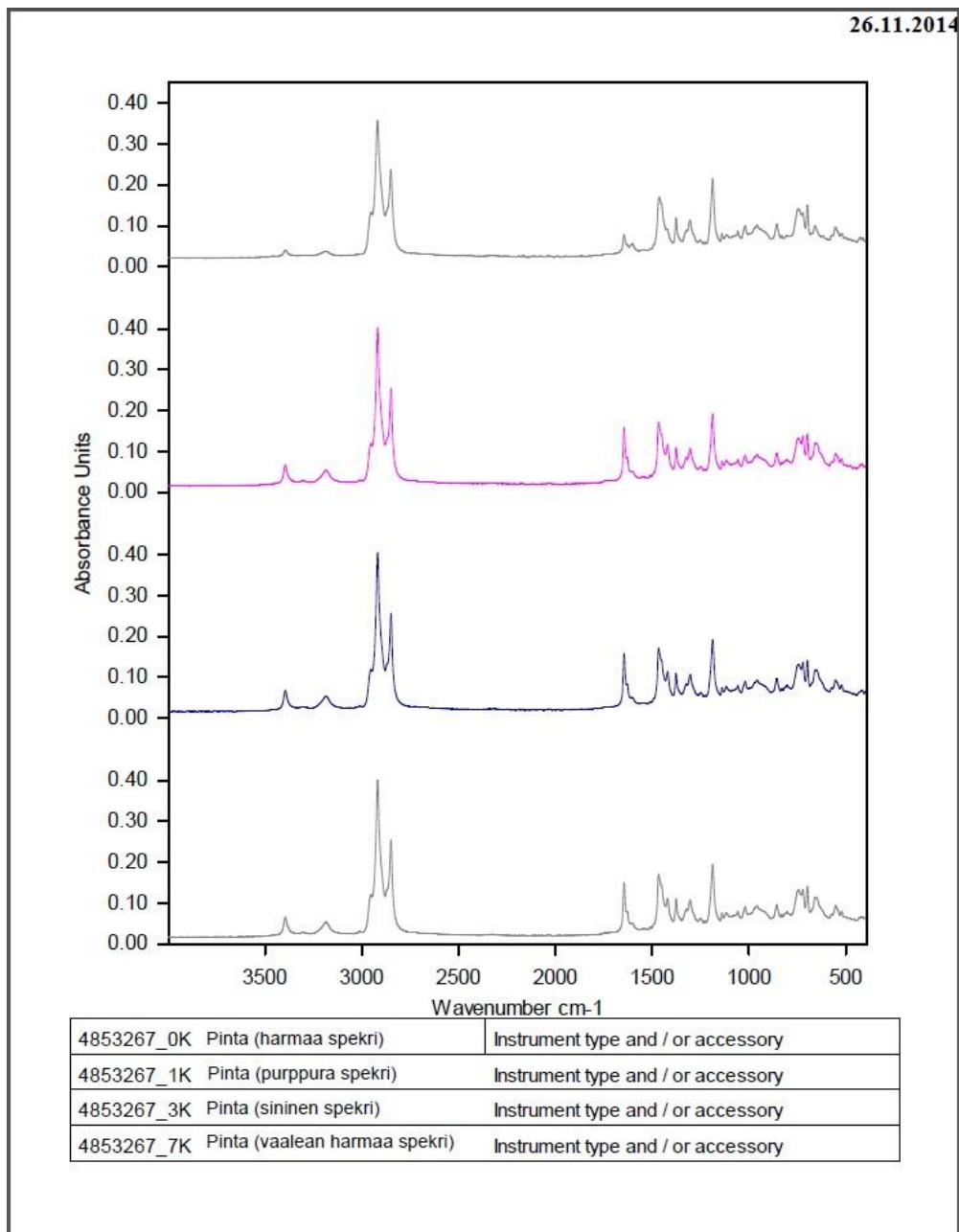
LIITE 10. KOVUUSMITTAUSPÖYTÄKIRJA: PolyOne OnFlex, SEBS (ISO-868 Shore A Kovuus)

Erä:4853267				Erä:4853267		
Kuivaamaton neits.	1s	15s		Kuivattu neits.	1s	15s
1	61	53		1	62	53
2	60	52		2	62	54
3	61	53		3	62	53
4	61	53		4	61	53
5	62	54		5	60	53
KA	61	53		KA	61,4	53,2
KH	0,63	0,63		KH	0,80	0,40
Erä:4853267				Erä:4853267		
Kuivaamaton 1 K	1s	15s		Kuivattu 1 K	1s	15s
1	63	51		1	60	51
2	61	51		2	61	51
3	60	51		3	59	50
4	61	50		4	62	52
5	60	50		5	59	51
KA	61	50,6		KA	60,2	51
KH	1,10	0,49		KH	1,17	0,63
Erä:4853267				Erä:4853267		
Kuivaamaton 3 K	1s	15s		Kuivattu 3 K	1s	15s
1	60	50		1	59	49
2	60	50		2	60	50
3	60	50		3	60	50
4	60	50		4	58	49
5	60	51		5	58	49
KA	60	50,2		KA	59	49,4
KH	0,00	0,40		KH	0,89	0,49
Erä:4853267				Erä:4853267		
Kuivaamaton 5 K	1s	15s		Kuivattu 5 K	1s	15s
1	59	49		1	57	47
2	59	49		2	59	49
3	57	48		3	58	49
4	59	49		4	60	49
5	60	49		5	57	48
KA	58,8	48,8		KA	58,2	48,4
KH	0,98	0,40		KH	1,17	0,80
Erä:4853267				Erä:4853267		
Kuivaamaton 7 K	1s	15s		Kuivattu 7 K	1s	15s
1	60	48		1	60	49
2	58	48		2	60	49
3	58	49		3	57	49
4	58	47		4	60	49
5	57	47		5	58	48
KA	58,2	47,8		KA	59	48,8
KH	0,98	0,75		KH	1,26	0,40
Erä:4864595				Erä:4864595		
Kuivaamaton neits.	1s	15s		Kuivattu neits.	1s	15s
1	60	52		1	61	52
2	60	51		2	59	51
3	61	52		3	59	50
4	59	52		4	59	51
5	61	52		5	60	52
KA	60,2	51,8		KA	59,6	51,2
KH	0,75	0,40		KH	0,80	0,75

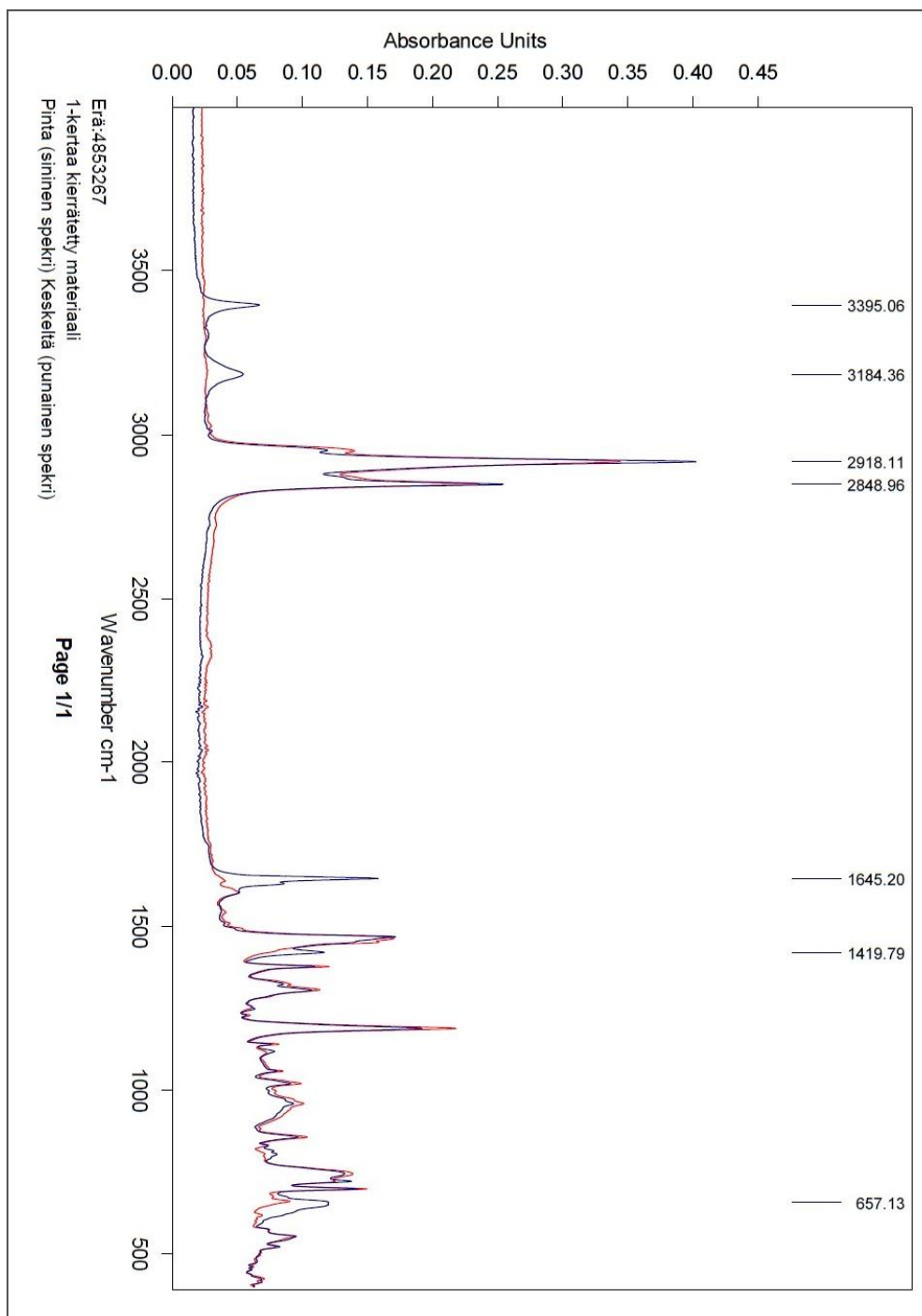
LIITE 11. FTIR: PolyOne OnFlex, SEBS (erät:4853267 ja 4864595).Nollanäytteet pinnasta kuivaamaton ja kuivattu raaka-aine



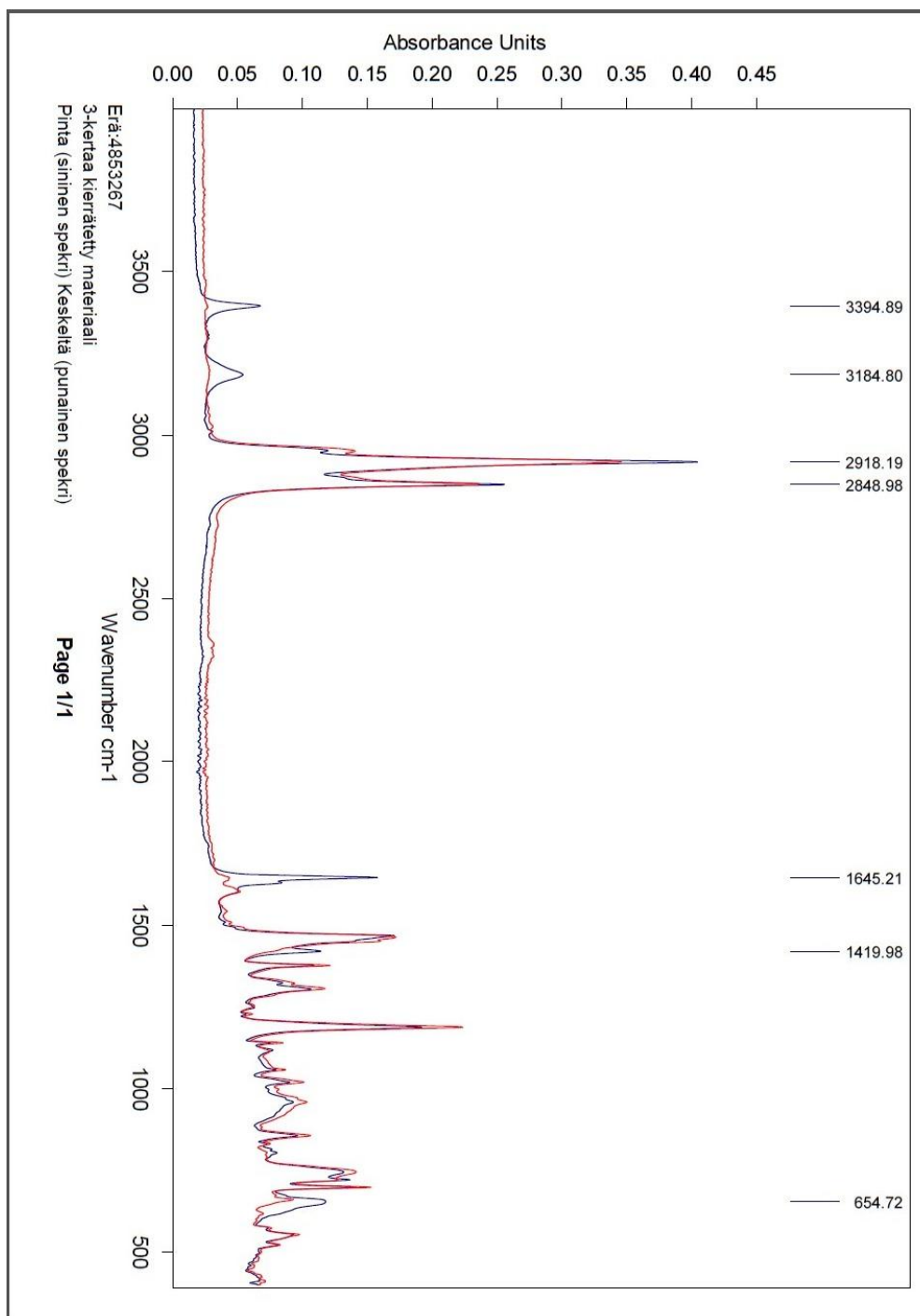
LIITE 12. FTIR: PolyOne OnFlex, SEBS (erä: 4853267). Pinta näytteet
(kuivattu materiaali)



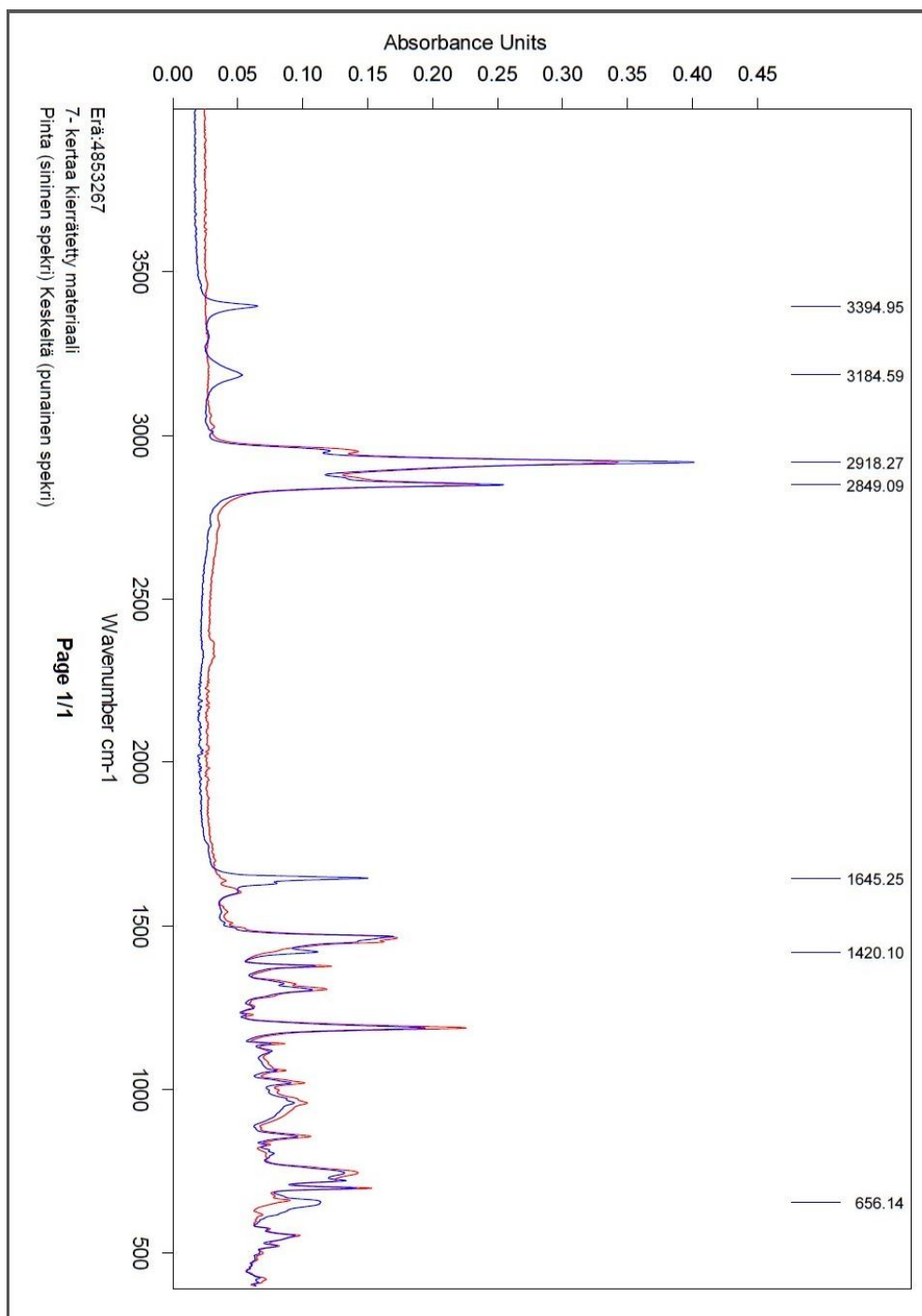
LIITE 13. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Pinta ja poikkileikkausnäyte (1-kertaa kierrätetty)



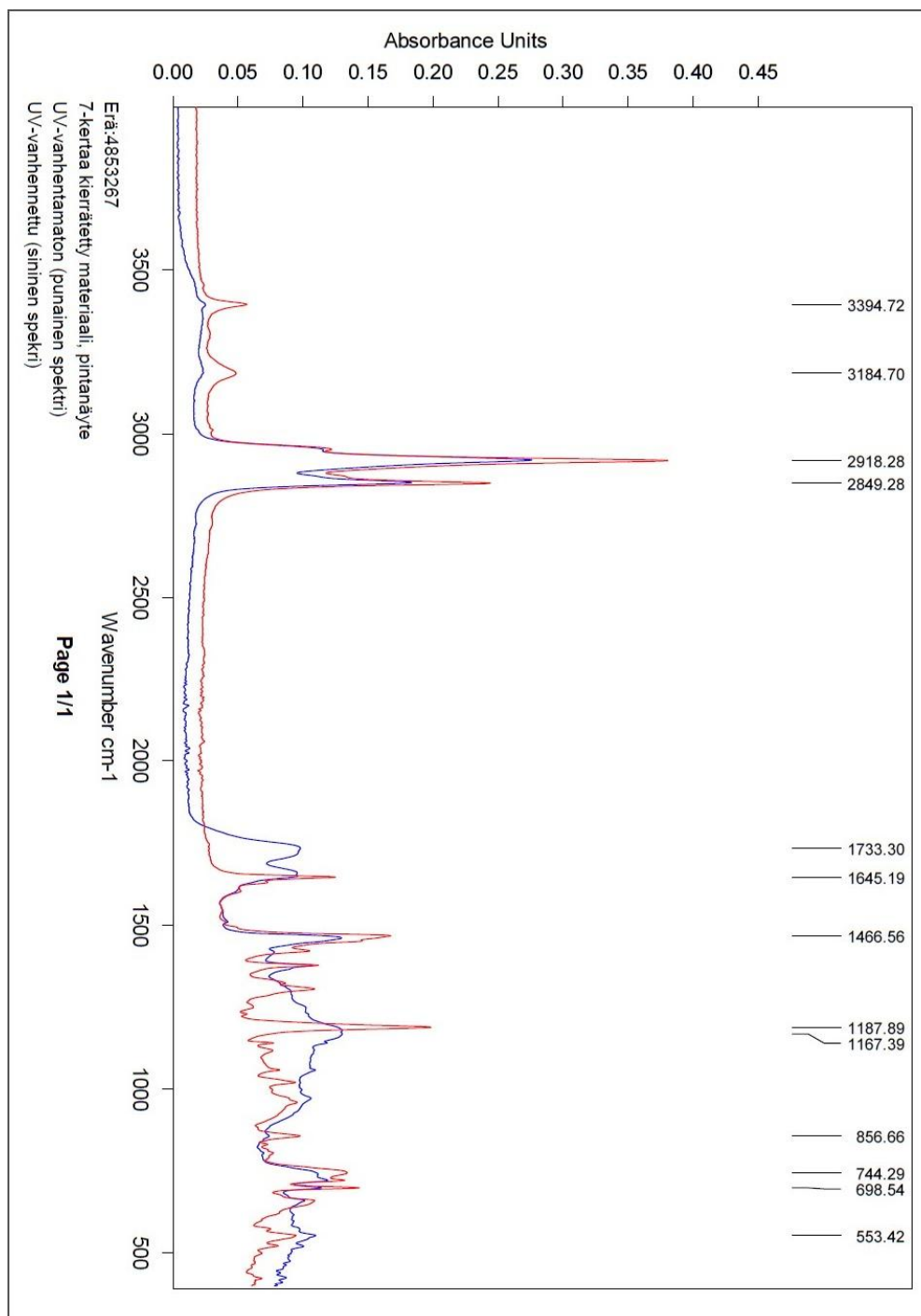
LIITE 14. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267). Pinta ja poikkileikkausnäyte (3-kertaa kierrätetty)



LIITE 15. FTIR PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) Pinta ja poikkileikkausnäyte. (7-kertaa kierrätetty)



LIITE 16. FTIR: PolyOne OnFlex, SEBS (erä:4853267) Pintanäyte. (7-kertaa kierrätetty, 7-kertaa kierrätetty UV-vanhennettu)



LIITE 17. Värimuutos mittaus pöytäkirja

Värimittaus pöytäkirja				
Erä:	Näyte:			
4853267	0 L	a	b	
	1.	28,74	-0,02	-0,62
	2.	28,74	-0,02	-0,63
	3.	28,71	-0,02	-0,62
	ka.	28,73	-0,02	-0,62
4853267	0(UV) 500			
	1.	27,95	-0,15	-0,34
	2.	27,96	-0,09	-0,33
	3.	27,92	-0,12	-0,32
	ka.	27,94	-0,12	-0,33
4853267	0(UV) 1500			
	1.	28,28	-0,09	-0,3
	2.	28,21	-0,09	-0,29
	3.	28,2	-0,04	-0,33
	ka.	28,23	-0,07	-0,31
4853267	7			
	1.	29,36	-0,08	-0,65
	2.	29,33	-0,08	-0,62
	3.	29,30	-0,09	-0,62
	ka.	29,33	-0,08	-0,63
4853267	7(UV) 500			
	1.	28,60	-0,06	-0,29
	2.	28,51	-0,07	-0,31
	3.	28,49	-0,04	-0,33
	ka.	28,53	-0,06	-0,31
4853267	7(UV) 1500			
	1.	28,97	-0,06	-0,23
	2.	28,9	-0,07	-0,25
	3.	28,89	-0,18	-0,18
	ka.	28,92	-0,10	-0,22